MRI 82/5

MINERAL POLICY SECTOR
INTERNAL REPORT

PROCESSING SECTOR COST ESTIMATES FOR THE KENNECOTT JOINT VENTURE MANGANESE NODULE PROCESSING FACILITY

D.E.C. KING
Mineral Policy Sector

D.W. PASHO
Ocean Mining Division
Canada Oil and Gas
Lands Administration

Energy, Mines and Resources Canada
Minerals

Énergie, Mines et Ressources Canada
Minéraux

CANADA

DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES

OTTAWA

Mineral Policy Sector Internal Report
MRI 82/5

PROCESSING SECTOR COST ESTIMATES FOR THE KENNECOTT JOINT VENTURE MANGANESE NODULE PROCESSING FACILITY

Prepared in Conjunction with the
Departmental Coordinating Committee on Ocean Mining
Deep Ocean Mining Study

by

D.E.C. King
Mineral Policy Sector

and
D.W. Pasho
Ocean Mining Division
Canada Oil and Gas Lands Administration

August, 1980

Catalogue No. M35-2/82-5
ISBN no. 0-662-52216-8

FOREWORD

This report is one of four from amongst a series of internal reports* prepared in conjunction with an extensive assessment of deep seabed resources undertaken by the Deep Ocean Working Group of Departmental Co-ordinating Committee on Ocean Mining. Although originally intended for internal use they are now being made available because of the significant award of information contained and because they were in a form that allowed publication with relatively little additional work and editing. In some cases, illustrations will appear as they did in the original reports for reasons of time and cost.

* Originally RMB Internal Report 1980-6.
(Kennecott Cost Estimates)

CONTENTS

	Page
INTRODUCTION	1
Background and Purpose	1
Approach	2
PROCESS SUMMARY	3
CAPITAL COST	7
Basis of Estimates	7
Explanation of Costs	7
Stockpiling, Reclaiming and Material Handling	12
Reduction, Leach and Wash	12
Regeneration and Effluent Treatment	14
Solvent Extraction	14
Cobalt Recovery	14
Electrolysis	14
Waste Disposal	15
Other Costs	16
Capital Expenditure Profile	17
OPERATING COSTS	19
Basis of Estimates	19
Explanation of Costs	20

APPENDIX

I	Description of Some Processing Plant Sites in British Columbia	24

FIGURES

1	Process Outline	4
2	Locations of Potential British Columbia Processing Sites	8

Page

TABLES

1. Capital Costs, Site Development 10
2. Capital Costs, Auxiliary Facilities 11
3. Process Materials Stockpile 13
4. Capital Costs, Stockpiling, Reclaiming and Materials Handling 13
5. Capital Costs, Reduction Leach and Wash 14
6. Capital Costs, Electrowinning 15
7. Capital Costs, Waste Disposal 15
8. Land Requirements 17
9. Capital Cost Summary 18
10. Capital Expenditure Profile 19
11. Process Materials Cost 21
12. Labour Schedule 22
13. Annual Operating Cost Summary 23

INTRODUCTION

Background and Purpose

In order to develop a sound technical foundation for policy development with respect to deep seabed resources the Department of Energy, Mines and Resources, Departmental Coordinating Committee on Ocean Mining (DCOM) undertook a broad ranging study of the technical and economic aspects of deep seabed resource development. Background work on the processing of seabed manganese nodules progressed from an initial state of the art review to brief but specific considerations of the possible processes to be used by the individual seabed mining consortia.

Following from these preliminary studies the various available processes were screened and two were selected from more detailed consideration of technology and probable costs. One such process selected was a hydrometallurgical nodule processing scheme that might be used by the Kennecott Joint Venture. Information regarding this process was collected and synthesized in an earlier report by the authors entitled "A Generalized Estimating Model for the Kennecott Joint Venture, Manganese Nodule Processing Facility" (August, 1979). The model serves as a basis for preparing cost estimates for the processing sector of an Ocean Management Inc. (OMI) ocean mining operation.

The cost estimates developed in this report are based upon earlier drafts of the Kennecott Joint Venture estimating model for the processing sector and are intended to be used in conjunction with cost estimates derived from a compatible estimating model of the mining and transport sectors to yield a complete cost estimate for an integrated ocean mining operation.

Such cost estimates can in turn be utilized to:

1. compare the profitability of envisioned seabed mining operations with existing and potential land based mining operations in order to estimate relative profitability, date of entry and rate of development of the industry, and impact on land based producers, such as Canada;

2. conduct sensitivity analysis of the profitability of seabed mining operations in order to study possible mechanisms of subsidization and to compare the impact of changes in various parameters such as, energy, labour and capital costs;

3. provide reasonable examples that could be utilized to evaluate the financial arrangements being negotiated at the Law of the Sea Conference as well as federal and provincial tax treatment of seabed mining operations;

4. provide a basis for cost benefit analysis of a domestic processing plant, and to compare a domestic site to other locations being considered; and

5. provide a basis for estimating the quantity of metals that might be economically recovered from deep seabed manganese nodules (the resource).

Approach

In the estimating model, major plant cost categories that would not be significantly affected by the choice of site location were developed in some detail but site specific cost categories were only outlined in a cursory fashion. The intent of this approach is to provide for maximum flexibility so that the cost estimate for an integrated operation could be readily developed for more than one process plant location by separately introducing the site specific elements and costs for the location selected.

Based upon the estimating model, order-of-magnitude capital and operating costs for the principle non-site specific cost categories were assessed by Falconbridge Nickel Mines Limited* under a joint contract from Resource Management Branch and the Regional Development Division of the Department of Energy, Mines and Resources, Canada.

A joint study with the British Columbia Ministry of Economic Development, for a hypothetical smelter complex on the west coast, afforded the opportunity for obtaining order-of-magnitude costs for site-specific cost categories. These estimates for potential processing site locations in British Columbia were prepared by Wright Engineers Limited (Vancouver) and H. Halverson and Associates, Vancouver working under contract to the British Columbia Ministry of Economic Development.**

Information from both Falconbridge and Wright Engineers was reviewed and adjusted as appropriate in order to ensure compatibility with respect to items for which cost allowances are made.

Material developed by G. Wittur and O. Fisher of EM&R for incusion in the study of potential processing sites in British Columbia was extremely useful.***

---

* "Economics of Processing Deep Seabed Manganese Nodules: An Information Package Containing Cost Estimates for Modelled OMI and Kennecott Manganese Nodule Processing Facilities 1979".

** Draft "B.C. Metallurgical Complex Study", 1979.

*** "Economics of Manganese Nodule Processing in British Columbia". Department of Energy, Mines and Resources, Canada and Ministry of Economics Development, British Columbia (Draft).

Some additional information was obtained from other feasibility studies:

1. "Feasibility Study: Nickel-Copper Project Pardu Township Ontario", Report by Parsons-Jurden Corp. for Great Lakes Nickel Limited, March, 1970.

2. "Nickel Recovery from Western Sources", Task 1 - Report - Technical and Economic Evaluation Report by Singmaster and Breyer for United States Bureau of Mines, December, 1975.

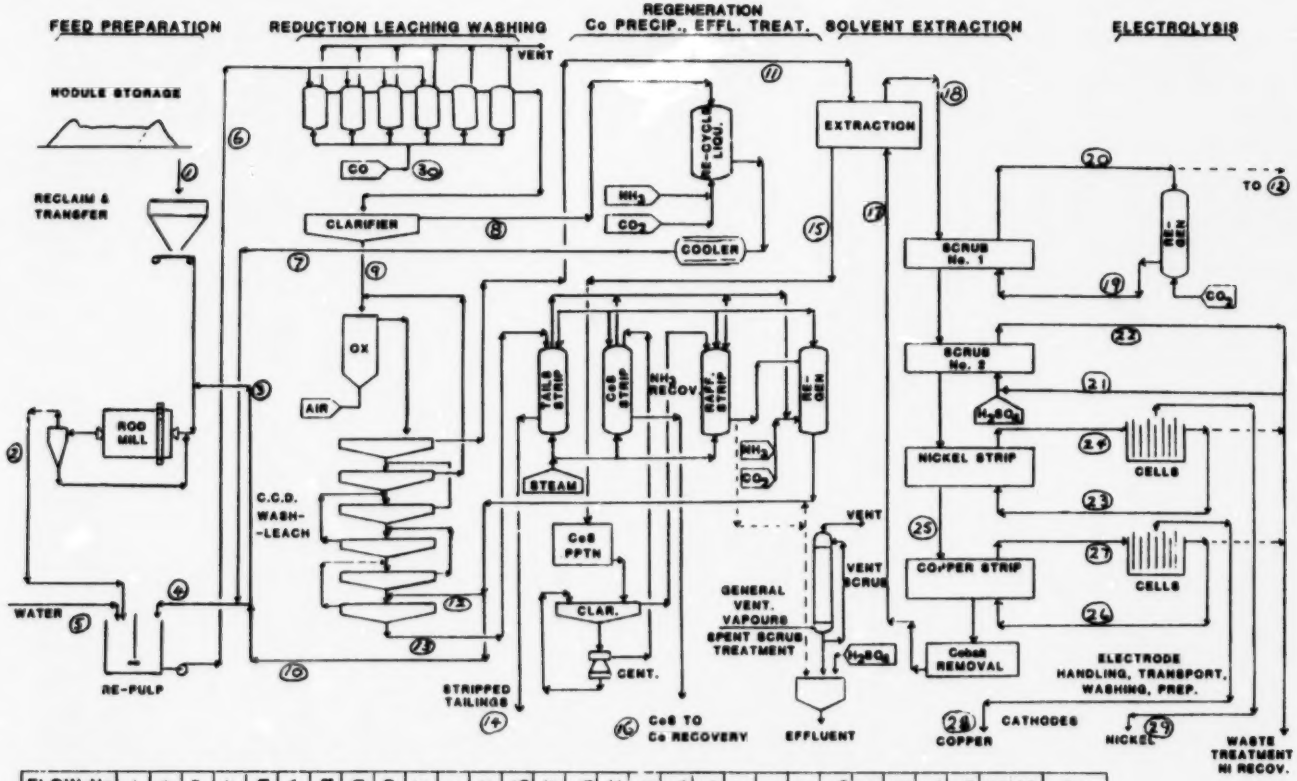
PROCESS SUMMARY

Kennecott Corporation's Cuprion process, like the Caron nickel process being operated in Cuba, is based on ammonium carbonate leaching of nickel. In the Caron process, laterite ore is dried and pre-reduced at high temperatures with gases. The Cuprion process was developed to eliminate this energy-intensive stage and instead to carry out the reduction during leaching by means of cuprous ions. The cupric ions formed during the reduction are regenerated into cuprous ions with carbon monoxide. Nickel, copper and cobalt entering the leach liquor are separated and recovered by solvent extraction techniques and electrowinning. The steps in the process are shown schematically in Figure 1. While requiring less energy during reduction a substantial amount of energy is required for ammonia recovery from circuit streams of different strengths.

A summary of significant quantities is given below:

Nodule grade (% dry wt)	
nickel	1.45
copper	1.25
cobalt	0.25
manganese	25.00
Nodule throughput	
wet	3 887 269 wmty (11 780 tpd)
dry	2 721 088 dmty (8 246 tpd)
Plant utilization	330 days per year
Product output (sheared cathodes)	
nickel	35 116 mty
copper	30 613 mty
cobalt	3 402 mty
Waste products	
leach tailings	2.7×10^6 dmty

Fig. 1 PROCESS OUTLINE



FLOW No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P.D. %Solids	60	35				5			31				45	45		65														
m/h Solids	399	399				399			399				384	384		1.9														
m/h Solution	289	629	217	123	178	654	668	668	778	391	772	420	420	420	772	1.0														(Starch)
m/h Pulp	873	983				1096			1116				764	764		2.9														
m/h Aqu.	239	617	210	119	178	631	668	668	736	329	736	407	407	407	736				414	414	128	128	163	163		387	387			Co 96 Loss (ECA)
m/h Org.																	125	125							125					
m/h Organic																	1040	1040							1051					
g/l or %Cu	625										5.36				0.02		0.5	3.41	0	0	0	0	0.002	0.001	2.69	37	47	100%		Co ~ 50%
g/l or %Ni	1.45										6.16				0.02		0.001	2.56	0	0	0.66	0.55	50	0.77	0.01	14	15		100%	Ni ~ 38%
g/l or %Co	0.25										0.58				0.02		0.01	0.01	0	0	—	—	0.001	0.001	0.01	0.02	0.02			H_2O ~ 9%
g/l NH_3							100					100			85		0	2.65	17	25	27	27	0.21	0.39	0	0.15	0.14			Mi ~ 1%
g/l CO_2							25		25			100			55															
Temp C							40	50	50		40																			
pH								10.6																						

FIGURE 1
DEEP-SEA NODULE TREATMENT MASS BALANCE MODEL BASED ON POSSIBLE KENNECOTT PROCESS

PSEL tons/17
REV1 tons/17

It is assumed that crushed nodules will be pumped as a slurry from the transport ship directly to the main storage ponds at the plant by a Marconaflo System or a similar technique. Holding ponds contain a total nodule inventory of up to two months. Reclamation of the material for plant feed is assumed to be by a suction pump mounted on a floating barge. This will entail some de-watering by filtration before the material is re-pulped with recycle leach liquor and ground in rod mills to 100 per cent minus 60 mesh, of which about 60 per cent is minus 200 mesh.

The leaching circuit, which receives low density pulp from the grinding operation, is made up of several stages. Solids are transferred sequentially in pulp form through reduction, clarification, oxidation-leaching, countercurrent decantation-washing, and ammonia recovery stages before the tailings finally pass to an impoundment area.

In the reduction stage the nodule slurry, containing strong ammonium carbonate solution with an excess of cuprous ions, is sparged with producer gas high in carbon monoxide. The manganese dioxide is reduced by cuprous ion and converted to manganous carbonate. The breakdown of the mineral structure releases the base metals which form soluble ammonium complexes. In this stage the operating pressure is only slightly greater than atmospheric and the temperature is about 50°C, so that the enclosed reaction vessels and associated pumps can be constructed of mild steel. The plant would require the equivalent capacity of two lines of six tanks in series, each tank 10 metres (m) diameter by 16 m high.

Following reduction-leaching the slurry is clarified, or allowed to settle so that some decanted liquor can be recycled through a regeneration stage in which its ammonia and carbon dioxide levels can be boosted before recycling via the grinding circuit. The underflow from the single clarifier of about 46 m diameter, passes on to the oxidation leaching tanks. In accordance with the apparent requirements for retention time in this stage the tankage required is substantial, the equivalent of two lines of nine vessels, each the size of the reduction-leaching vessels. Air is sparged into the leach pulp in order to oxidize the copper, cobalt and iron. Further leaching takes place during this stage.

The metal-bearing solution is recovered by liquid/solid separation by discharging the pulp from the oxidation-leaching stage into a continuous countercurrent washing circuit comprising two lines of six thickeners, each about 72.5 m in diameter.

Pregnant liquor overflow from the washing circuit is held in surge tanks before being pumped through clarifier pressure leaf filters en route to the solvent extraction circuit. There will be six such "polishing" filters each with 56 sq m of filter area.

The clear pregnant solution, containing about five and six grams per litre (g/l), respectively, of copper and nickel, and about ½ g/l of cobalt, is fed to a three-stage countercurrent solvent extraction circuit in which the copper and nickel together with some ammonia, is extracted by the solvent. Ammonia must be removed from the organic stream before

stripping out the nickel and copper. It is accomplished in two successive countercurrent scrubbing operations using first water and then weakly acidic ammonium sulphate. The ammonia is stripped from the scrub solution by means of steam, and the vapours transferred to the ammonia recovery section.

Stripping of the nickel from the solvent is carried out under slightly acid conditions in three countercurrent stages. In a subsequent battery of stages the solvent is then stripped of its copper content under more strongly acid conditions. Before recycling, a bleed stream of the solvent is further stripped of any cobalt it may contain by a recently patented Kennecott process. Any crud (mixtures of emulsified organic, degraded organic and fine solids) which may have built up in the solvent is separated from the solvent by centrifuge and then incinerated. Entrained solvent in the various aqueous streams is separated by settling or centrifuging and returned to the organic surge tanks for recycle.

The barren aqueous solution or "raffinate" from the initial extraction stages is treated to remove cobalt as sulphide which then forms part of the feed to a separate cobalt extraction circuit. The cobalt-free raffinate is fed to a reagent circuit for recycling of its ammonia and carbon dioxide contents.

Recovery of nickel and copper is effected by electrowinning from their respective strip solutions. Each electrowinning circuit is in closed circuit with the corresponding strip solution, and in each case the spent electrolyte recycles back to solvent extraction to strip more metal from the loaded organic.

The impure cobalt sulphide precipitates, from both raffinate and solvent purges, can be treated in different ways to recover the cobalt. The processes may vary in detail, but typically they would include re-leaching of the sulphide, solvent extraction to remove copper and nickel, as well as zinc and molybdenum if present, and electrowinning of the cobalt from the raffinate. Although the cobalt plant is fairly complex the scale of unit operations is relatively small.

Kennecott has not indicated any intention of initially recovering manganese from the leach tailings. However, flotation testing by Kennecott reportedly produced manganese concentrates of commercial grade and quality from leach tailings. If commercially applicable, such a flotation step would enable the sale of manganese concentrates or ferromanganese smelting on site.

In conjunction with the main operations, necessary auxiliary facilities include regeneration of the reducing gas for the leaching stage, water supply and treatment steam and power generation, water cooling and gas ventilation and recovery. Liquid effluents are collected and treated with lime before disposal.

CAPITAL COST

Basis of Estimates

The capital cost for major plant areas have been estimated by Falconbridge Nickel Mines, Limited. Based upon the estimating model, an equipment flow sheet was prepared and specific equipment items were sized. Costs for some parts of stockpiling, reclaiming, materials handling (feed preparation), reduction leaching, washing, regeneration, effluent treatment, and solvent extraction were developed from sized equipment cost estimates. Allowances were made for installation, piping, electrical, instruments and buildings. A lump sum estimate was made for electrolysis.

Capital costs are based upon vendor quotations or operational experience. They include the unit cost, freight, and installation, are expressed in late 1978, Canadian dollars and are based on the assumption that the site is located in the Prince Rupert area. Costs are felt to be accurate within minus 20 per cent to plus 50 per cent.

Site development, auxiliary facilities and waste disposal costs for four British Columbia processing site locations were developed by Wright Engineers Limited, Vancouver. The site conditions at Kitimat, Emsley Creek, Smith Island and Port Hardy (Figure 2) are summarized in Appendix I and seem to represent a reasonable range of potential site characteristics with a variety of infrastructure requirements. The costs estimated for each site location should be considered as "very approximate" according to Wright Engineers Limited, due to the brevity of their study and the lack of detailed data such as site topography and foundation conditions. Costs were estimated in 1978 Canadian dollars. Where necessary to reconcile costs and eliminate overlaps between Falconbridge and Wright Engineers, this was done by the authors.

In general, the structure of the cost model has been developed to a greater extent than warranted by the accuracy of the estimates or cost allowances. This was done in order to facilitate the development of the model, to allow flexibility in its application and its subsequent improvement.

Explanation of Costs

Site Development: For the purposes of this study it is assumed that, with the exception of providing housing for senior supervisors, there is no corporate investment in **community infrastructure*** such as housing, schooling, health care, etc. The cost is estimated to be approximately $7.5 million.

---

* Shaded items correspond to cost headings in Tables.

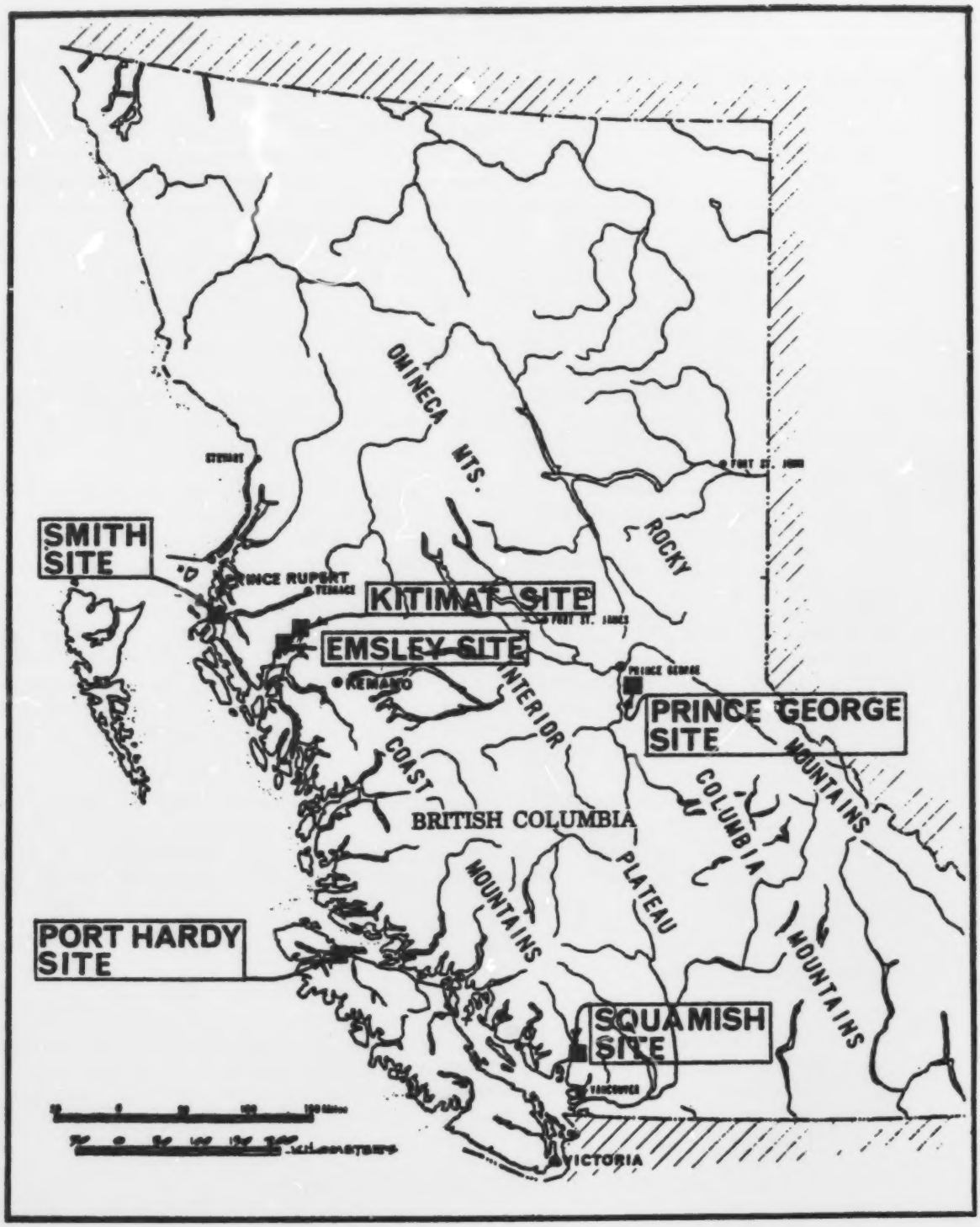


FIG. 2. LOCATIONS OF POTENTIAL BRITISH COLUMBIA PROCESSING SITES

General field costs* which cover expenses for consumable materials, buildings, utilities, travel, security, administration etc. during construction, are considered to be provided for in individual plant area estimates.

Site preparation costs includes clearing, site levelling, drainage and foundation preparation. Clearing costs were based upon estimated forest cover existing at the sites at the time they were inspected for the study. Because sufficient information on topography and foundation conditions was not available at each site, a constant amount of $10 million was assumed for excavation, site levelling, drainage and foundation treatment. In the case of the Emsley Creek site an additional $1 million was added for the diversion of the Creek. These estimates do not include the costs of plant foundation structures such as footings, slabs and piles etc.

Estimates for **offsite services** such as railway, roads, bridges, transmission lines, sub-stations, and water supply were developed for the individual sites based upon distances, topography, ground conditions, etc. These estimates may be considered as particularly suspect where storage dams would be required (Smith Island and Port Hardy) since there is practically no data available on the dam sites nor on the sources of materials for the construction of the dams.

Yard Services include general on-site distribution systems for water and power. Water distribution includes fire protection and sewage; the cooling water system includes cooling towers which are assumed to be on-site or close to the plant and having minimum head differences between plants. A separate estimate of $11 million has been made for trucks, front-end loaders, fork lifts and other mobile equipment to be used at the plant. On-site rail materials distribution is provided for in the materials handling estimates.

The extensive layout of the processing facilities and the substantial volumes of materials required to sustain the operation requires a rather extensive in-plant rail system for the effective movement of some bulk materials and most final products. Allowance for both local trackage and equipment is provided for in the process materials handling estimate.

Site development costs are summarized in Table 1.

Auxiliary Facilities: Auxiliary facilities provided for herein, include auxiliary buildings, a marine terminal, overland transportation of the nodules from a marine terminal, to the plant site and gas generation plants (Table 2).

Auxiliary buildings are pre-engineered, of steel frame construction and include a general warehouse, maintenance and repair shops, vehicle garage, offices, laboratory, truck scale, lunchroom and change and gate houses. Other buildings are accounted for in specific cost areas.

---

* This was treated as a separate cost category in the estimating model.

TABLE 1

Capital Costs, Site Development

	Kitimat	Emsley Creek	Smith Island	Port Hardy
		$ millions		
Community Infrastructure				
Supervisors housing	7.5	7.5	7.5	7.5
General Field Costs	(included in individual plant area estimates - see text)			
Site Preparation				
Clearing	1.8	1.6	1.6	6.0
Site levelling and drainage	10.0	11.0	10.0	10.0
Subtotal	11.8	12.6	11.6	16.0
Offsite Services				
Railway	0.8	14.4	4.5	(1)
Roads	0.2	2.4	2.6	0.5
Transmission lines	0.4	1.0	0.4	(2)
Water supply	1.2	1.1	4.3	10.5
Subtotal	2.6	18.9	11.8	11.0
Yard Services				
Mobile equipment	11.0	11.0	11.0	11.0
Water distribution	1.5	1.5	1.5	1.5
Cooling water system	4.0	4.0	4.0	4.2
Roads, parking, fencing	1.0	1.0	1.0	1.0
Subtotal	17.5	17.5	17.5	17.7
TOTAL	39.4	56.5	48.4	52.2

(1) No rail service to northern Vancouver Island.
(2) Dams required.

Marine terminal estimates assume the transfer of nodules slurry to the shore using a Marconaflo System and a mono-buoy mooring system. A land cost allowance assumes a price of $1,500/acre and a 30 acre maximum requirement. Facilities are provided for ship or barge loading, materials transfer and product storage. However, since most process materials are delivered by rail these requirements are not extensive. In the case of Port Hardy extra materials storage facilities might be required as all materials arrive by ship/barge.

Overland ore transportation from the marine terminal to the process plant includes the pipeline and pump stations as required for the specific site.

TABLE 2

Capital Costs, Auxiliary Facilities

	Kitimat	Emsley Creek	Smith Island	Port Hardy
		$ millions		
Auxiliary Buildings	10.3	10.3	10.3	10.3
Marine Terminal				
Site development and services	3.0	4.0	4.0	4.0
Land	.1	.1	.1	.1
Single bay mooring	2.0	2.0	2.0	2.0
Ship and barge load/unload	3.0	3.0	3.0	3.0
Dock storage	2.0	3.0	3.0	2.0
Product storage	1.0	1.0	1.0	1.0
Materials handling	2.0	2.0	2.0	4.0
Subtotal	13.1	15.1	15.1	16.1
Overland Ore Transportation	6.2	2.1	3.8	1.8
Gas Generation				
Oxygen plant	3.9	3.9	3.9	3.9
Carbon monoxide	41.4	41.4	41.4	41.4
Subtotal	45.3	45.3	45.3	45.3
Internal Power Generation	55.0	55.0	55.0	55.0
TOTAL	129.9	127.8	129.5	128.5

Gas generation facilities are provided for the production of oxygen and carbon monoxide.

The cost of an oxygen plant capable of producing approximately 218 000 mty for carbon monoxide generation is based upon a scaled quote and estimated at $3.9 million. Should hydrogen be produced using electrolytic cells, the oxygen co-production from the electrolysis would somewhat reduce the size of the oxygen facility. It is estimated that the plant will require roughly 8 megawatts of additional power.

Carbon monoxide is generated from coal for use in the initial reduction leach reactors. The generation facility estimate provides for the basic vessel, a coal-feed system, removal system, gas cleaning, waste heat boiler, gas, coal, oxygen and steam supply and gas compressors. The cost of the facility is estimated at $41.4 million.

Internal power generation* provides virtually the total plant requirements of 55 MW. Turbogenerators, waste heat boilers, switch gear and condensers are estimated to cost approximately $55 million.

* Not discussed in estimating model.

Stockpiling, Reclaiming and Material Handling

Nodule storage facilities for eight weeks, or approximately 706 776 wmt of nodules, is provided at the plant site by two clay-lined storage ponds. The minimum cost for the construction of the ponds could easily approach $3 million if the topsoil must be saved or a plastic liner used.

Nodules are reclaimed using recovery dredges (2) consisting of flat bottom barges with crane and winch-controlled pipe suction system. The cost of two complete dredges, hoses and a booster station is approximately $3 million. If a Marconaflo System were substituted for the recovery dredges, the cost would not be materially affected.

A nodule **feed preparation** circuit includes storage tanks, belt filters, and two grinding circuits costing approximately $6.22 million. Provision is made in the grinding circuit estimate for two rod mills, foundations, cyclones, feed pumps and cyclones, rod charger hoods and overhead crane.

Facilities at the plant for the **processed material storage, handling** and distribution assumes four week stockpile of major bulk materials such as coal, fuel oil and limestone (Table 3). Most materials are considered to be delivered by rail.

An allowance of $1.9 million is made for covered storage of one months supply of coal (59 000 mt) and limestone (2 000 mt) and one months tank storage of fuel oil (1,000 bbls).

The capital cost of storing all other consumable materials (Table 2) are taken to be minor and considered to be included in the estimates for various plant sections.

Capital costs for stockpiling, reclaiming and materials handling are given in Table 4.

Reduction, Leach and Wash

An estimate of approximately $7.55 million for the **reduction leach circuit** includes provisions for two lines of 6 mil steel covered leach tanks with agitators, feed tanks and feed and discharge pumps.

A **clarifier circuit** to treat the reduced slurry includes the cost of clarifier, overflow pumps, underflow pumps and solution pumps. The cost is estimated at $2.34 million.

Two lines of nine **oxidation tanks** and pumps to the countercurrent decantation circuit are estimated at $12.82 million.

TABLE 3

Process Materials Stockpile

Material	Annual Requirements	Stock Pile Requirements		Delivery
	mtpy	Duration weeks	Amount mt	
Nodules	3 887 269 wmt	8	706 776	ship
Coal	690 000	4	58 545	rail
Fuel oil	11 440 bbls	4	971	-
Limestone	23 300	4	1 977	-

TABLE 4

Capital Costs, Stockpiling, Reclaiming and Materials Handling

	$ millions
Nodule Storage Facilities	
Storage ponds	3.0
Recovery dredges	3.0
Subtotal	6.0
Feed Preparation	
Slurry settling storage tanks	
Belt filters	
Grinding circuits	
Subtotal	6.2
Process Materials Storage and Handling	
Coal, fuel oil, limestone	1.9
TOTAL	14.1

In the countercurrent decantation (CCD) circuit, two lines of 6 thickeners, pregnant liquor tanks, overflow solution tanks, underflow tanks slurry and solution pumps, and pregnant liquor clarifier filters cost a total of approximately $24.60 million. Estimates are based on washing efficiencies reported in a paper by Davies and Goldberg (see Estimating Model), although the authors feel these may be optimistic given the physical characteristics of the nodules.

A capital cost summary is given in Table 5.

TABLE 5

Capital Costs, Reduction Leach and Wash

	$ millions
Reduction leach circuit	7.55
Clarifier circuit	2.34
Oxidation tanks	12.82
CCD circuit	24.60
TOTAL	47.31

Regeneration and Effluent Treatment

The overall cost of tailings stripping, raffinate stripping, and solution generation systems is estimated at $4.03 million.

Solvent Extraction

In the solvent extraction circuit for nickel and copper, provision is made in the estimates for mixer-settlers for loading, scrubbing and stripping, coalescers and centrifuges for solvent recovery, surge tanks for organic and aqueous streams, ammonia regeneration columns, and pumping and control equipment. In order to ensure adequate fire and explosion protection, vapour collection hoods and ducting is also provided. The total cost for the plant area equipment is estimated at $8.91 million.

Cobalt Recovery

Included in cobalt recovery are sulphide precipitation, re-leaching and solvent extraction system, which are estimated at $1.36 million. Cobalt electrowinning at $16.50 million brings the total estimate to $17.86 million.

Electrolysis

Distinct and separate nickel and copper electrowinning tankhouses are provided for, plus product packing and shearing plant for nickel, copper and cobalt. The estimates include provisions for building, equipment and process services. The nickel electrowinning circuit is estimated to cost $32.92 million, the copper electrowinning circuit $24.14 million, and product packing and shearing approximately $13.10 million for a total cost of the plant section of approximately $70.16 million.

Costs are listed in Table 6.

Waste Disposal

A conventional tailings disposal system consisting of **tailings pipeline** and pumphouses, a lined, earth embankment **tailing pond,** and an **effluent disposal** system consisting of decant and effluent pumps, pipelines and outfalls and **land** are allowed for.

TABLE 6

Capital Costs, Electrowinning

	$ millions
Nickel electrowinning	32.92
Copper electrowinning	24.14
Product packing and shearing	13.10
TOTAL	70.16

Costs include buildings, equipment and process services

The cost of the tailings embankment is variable; only a starter dike is required at Kitimat, at sea disposal is assumed for Emsley Creek, a 20-year dike across an inlet is allowed for at Smith Island, and an extensive starter dike is required at Port Hardy due to topography. There would likely be further differences due to availability of materials.

Costs are summarized in Table 7.

TABLE 7

Capital Costs, Waste Disposal

	Kitimat	Emsley Creek	Smith Island	Port Hardy
	$ millions			
Tailings pipeline	1.4	0.9	0.8	0.9
Tailings pond	8.0[1]	-	6.5[2]	13.0[1]
Effluent disposal	7.7	-	-	0.8
Land	0.6	-	0.6	0.6
TOTAL	17.7	0.9	7.9	15.3

[1] Starter dikes; [2] 20 years.

Other Costs

An allowance of 18 per cent* of total plant area costs is provided for **engineering** and assumes that the basic process flow sheet will be made available to the designers by the owner. It is further assumed that the owner is able to provide an operating liaison group with all the necessary process information in order to allow the engineering contractor to convert it into the plant specifications and design drawings. The engineering contractor will work in advance of construction and will prepare design drawings, equipment specifications and contract packages in order to purchase equipment and let contracts for construction. Project management and site supervision are also assumed to be the responsibilities of the engineering contractor.

An allowance for **contingencies** of 20 per cent of process plant costs has been included and is considered applicable when the units used in the process are conventional as most appear to be. Site dependent items would be given a higher percentage. The contingency items have been distributed to cover the expected cash flows for contingencies.

Spares inventory is taken as 5 per cent of installed capital equipment of approximately $280 million and is based upon the mechanical exposure of the operating equipment.

A **training** allowance of $10 million has been made for recruiting costs, training, moving-in expenses and additional assembly costs for the initial manning of the process plants.

Non-recurring **start-up** costs are estimated at $12 million on the assumption that 6 months operation will be required to reach production capacity; with zero production for one third of the time, one third production for one third of the time and two thirds production for one third of the time. This allows for circuit filling and off-grade production during this period.

Taxes and insurance are assumed to be approximately 3 per cent of the installed capital equipment costs of $280 million.

Land costs provide only for the main plant (Table 8). Because the option may exist to dispose of leach tailings offshore (Emsley Creek Site - Appendix I) and waste disposal is site-specific, land for waste disposal is estimated separately. Similarly, land required for the marine terminal is identified. The amount of land needed for other auxiliary facilities is considered insignificant.

A **working capital** allowance of 6 months operating cost is considered equivalent to the cost of process materials, raw materials inventory, product inventory, accounts receivable and ready cash. Although the nodule stockpile, because of its size and the significant value of delivered nodules, would constitute a significant addition to working capital, nodules are not included in the calculation but would have to be included in a model of an integrated operation.

---

* 12% detailed engineering and 6% site supervision.

Capital Expenditure Profile

The **expenditure profile** for initial capital assumes 4½ years construction. Engineering precedes the start of construction by 4 months and continues through 75 per cent of the total construction period, with the marine terminal and offsite services completed during the 1st year. The plant costs are allocated over the next 36 months and the refinery during the last 6 months. Working capital expenditures are not included.

Replacement capital is taken as 1 per cent of total plant cost per year starting in the third year of production, to maintaining plant competitiveness, and incorporate new technological improvements (but not plant extensions). Mobile equipment is replaced every 5 years.

TABLE 8

Land Requirements

Facility	Land Requirement acres	Cost at $1,500/acre
Main Plant		
Nodule and material storage	100	
Roads and rail access	25	
Leach and wash	250	
Refining and cobalt recovery	100	
Subtotal	475	712,500
Waste Disposal		
Tailings at 20 acres/year	390	585,000
Marine Terminal (maximum)	30	45,000
TOTAL	895	1,342,500

TABLE 9

Capital Cost Summary

Cost Area	Kitimat	Emsley Creek	Smith Island	Port Hardy
			$ millions	
Site development	39.4	56.5	48.4	52.2
Auxiliary facilities	129.9	127.8	129.5	128.5
Stockpiling reclaiming and materials handling	14.1	14.1	14.1	14.1
Reduction leach and wash	47.3	47.3	47.3	47.3
Regeneration and effluent treatment	4.0	4.0	4.0	4.0
Solvent extraction	8.9	8.9	8.9	8.9
Cobalt recovery	17.9	17.9	17.9	17.9
Electrolosis	70.2	70.2	70.2	70.2
Waste Disposal	17.7	0.9	7.9	15.3
Subtotal (plant area costs)	349.4	347.6	348.2	358.4
Engineering	62.9	62.6	62.7	64.5
Subtotal (process plant costs)	412.3	410.2	410.9	422.9
Contingency	82.5	82.0	82.2	84.6
Subtotal	494.8	492.2	493.1	507.5
Spares	14.0	14.0	14.0	14.0
Training	10.0	10.0	10.0	10.0
Start-up	12.0	12.0	12.0	12.0
Taxes and insurance	8.4	8.4	8.4	8.4
Land	0.1	0.1	0.1	0.1
TOTAL	539.3	536.7	537.6	552.0
Working capital*	56.0	56.0	56.0	56.6
GRAND TOTAL	595.3	592.6	592.6	609.6

* 6 months plant operating costs, no provision made for nodule stockpile.

TABLE 10

Capital Expenditure Profile*

Cost Item	-5	-4	3	-2	-1	Total
			$ millions			
Plant and equipment	34.9 (10)	139.8 (40)	80.4 (23)	45.4 (13)	48.9 (14)	349.4 (100)
Engineering	23.9 (38)	15.7 (25)	14.5 (23)	5.7 (9)	3.1 (5)	62.9 (100)
Contingency	10.7 (13)	16.5 (20)	28.1 (34)	16.5 (20)	10.7 (13)	82.5 (100)
Spares				5.3 (38)	8.7 (62)	14.0 (100)
Training and start-up					22.0 (100)	22.0 (100)
Taxes and insurance	0.5 (6)	1.4 (17)	1.9 (23)	2.1 (25)	2.5 (29)	8.4 (100)
Land	0.1 (100)					0.1 (100)
TOTAL (no working capital)	70.1	173.4	124.9	75.0	95.9	539.3
Working capital				22.4 (40)	33.6 (60)	56.0 (100)
TOTAL (with working capital)	70.1	173.4	124.9	97.4	129.5	595.3

( ) = percentage distribution for the cost item.
* Kitimat used as base case

OPERATING COSTS

Basis of Estimates

Operating cost estimates are based largely upon information provided by Falconbridge Nickel Mines Limited and Wright Engineers Limited. Assumptions are stated for each cost area.

Operating costs for all plant sections, including auxiliary facilities, are aggregated under the headings process materials (fuel and non-fuel), utilities, labour, supplies, property tax, sales and administration. All operating costs are summarized in Table 14.

Explanation of Costs

Process Materials

Both fuel and non-fuel process materials costs include an allowance for the basic materials cost (Table 11), and a transportation surcharge for delivery to a specific site.

Delivery surcharges were estimated by EMR based upon information provided by Wright Engineering Limited and, depending on the delivery scenario, covers costs of delivery from the marine terminal to the plant site.

Utilities

Purchase power requirements are insignificant as virtually all of the 55 MW requirements are internally generated.*

Labour

Plant labour costs are calculated on the basis of labour requirements developed for major plant sections (Table 12) and annual costs of $21,800 each for operators, $24,100 for maintenance staff and $27,500 for salaried staff. These amounts include burdens, all payments made on behalf of the employee (about 25 per cent of base pay) but excludes indirect employment costs such as recreation, cafeteria etc.

Total labour costs are calculated to be $44.8 million.

Supplies

Provision is made for operating, maintenance, safety and health and laboratory supplies.

Operating supplies are taken to be 3 per cent of total installed equipment costs of $280 million or $8.4 million. Repair costs are assumed to be 2 per cent or $5.6 million.

---

* Power requirements and internal power generation capabilities, are discussed in the estimating model and based on a report by EIC Corporation.

TABLE 11

Process Materials Costs

Process Materials	Annual Requirement mtpy	Basic Price[1] $/mt	Basic Cost '000 dollars	Delivery Surcharge (in '000 dollars) Kitimat	Emsley Creek	Smith Island	Port Hardy
Fuel Materials							
Coal	690 000	50 (Mainland Port)	34,500	nil	nil	nil	3,450 (5)[2]
Fuel oil	11 440 bbls	15/bbl (B.C. Port)	172	nil	nil	nil	nil
TOTAL FUEL			34,672	nil	nil	nil	3,450
Non-Fuel Materials							
Limestone	23 300	25 (B.C. Port)	583	445 (19)	321 (14)	321 (14)	210 (9)
Lime	9 900	35 (B.C. Port)	347	188 (10)	139 (14)	139 (14)	89 (9)
Ammonia	4 400	171 (Mainland Port)	752	176 (40)	176 (40)	176 (40)	220 (50)
H_2S	4 000	500 (Ft. Saskatchewan)	2,000	200 (50)	200 (50)	200 (50)	240 (60)
H_2SO_4	500	30 (Trail, B.C.)	15	20 (40)	20 (40)	20 (40)	25 (50)
Grinding rods	1 350	385 (Anywhere, B.C.)	520	162 (120)	162 (120)	162 (120)	176 (130)
LIX reagent	303	7 166 (Anywhere, B.C.)	2,171				
Flocculant	1 000	660 (Anywhere, B.C.)	660				
Sodium sulphate	1 250	75 (Anywhere, B.C.)	94				
Boric acid	180	400 (Anywhere, B.C.)	72	126 (25)	126 (25)	126 (25)	126 (25)
Salt (NaCl)	240	75 (Anywhere, B.C.)	18				
Water tower chemical	600	1 800 (Anywhere, B.C.)	1,080				
Filter aid	1 500	195 (Anywhere, B.C.)	293				
TOTAL NON-FUEL			8,605	1,317	1,144	1,144	1,086

1 Source: EMR estimate; prices f.o.b. delivery point; "B.C. Port" includes Vancouver Island (e.g. Port Hardy), "Mainland Port" does not.

2 ( ) = $/mt delivery surcharge.

TABLE 12

Labour Schedule

Plant Area	Labour
Slurry storage and dredge	20
Slurry settling and filtration	12
Grinding	4
Leach, clarification and oxidation	16
CCD	17
Clarifier filters	8
Solvent extraction	20
Cobalt reduction and S.X.	8
Nickel electrowinning	150
Copper electrowinning	100
Cobalt electrolysis	50
Tails stripping and raffinate strip	16
Carbon monoxide plant and compression plant	24
Product shearing and packing	40
Tailings disposal	20
Port facility and yard	200
Townsite (key personnel only)	100
Total operating	800
Total maintenance	680
Salaried staff	400

Property Tax, Insurance and Miscellaneous

Property taxes, insurance permits and inspection are provided for by allowing $1.5 million.

Sales and Administration

The allowance for sales fees and costs have been reviewed with people working in this field and are considered adequate. Provision is made for 10 people costing $100,000 each per annum plus a basic cost of $5 million.

TABLE 13

Annual Operating Cost Summary

Cost Items	Site			
	Kitimat	Emsley Creek	Smith Island	Port Hardy
	$ millions			
DIRECT COSTS				
Process materials				
Fuel materials	34.7	34.7	34.7	38.1
Non-fuel materials	9.9	9.8	9.8	9.7
Subtotal	44.6	44.5	44.5	47.8
Utilities				
Purchase power	nil	nil	nil	nil
Labour				
Salaried	11.0	11.0	11.0	11.0
Maintenance	16.4	16.4	16.4	16.4
Operating	17.4	17.4	17.4	17.4
Subtotal	44.8	44.8	44.8	44.8
Supplies				
Operating	8.4	8.4	8.4	8.4
Maintenance - repair	5.6	5.6	5.6	5.6
Safety and health	0.6	0.6	0.6	0.6
Laboratory	0.5	0.5	0.5	0.5
Subtotal	15.1	15.1	15.1	15.1
Subtotal, direct costs	104.5	104.4	104.4	107.7
INDIRECT COSTS				
Property taxes and insurance	1.5	1.5	1.5	1.5
Sales and administration	6.0	6.0	6.0	6.0
Subtotal, indirect costs	7.5	7.5	7.5	7.5
TOTAL	112.0	111.9	111.9	115.2

APPENDIX I

Description of Some Potential Processing Plant Sites in British Columbia

The following site summaries have been compiled from a report, by Wright Engineers Limited for the British Columbia Ministry of Economic Development, to which contributions were made by the RD/MPS section of Energy, Mines and Resources Canada. The report deals in part, with potential processing sites for manganese nodules and considered four sites which, based upon a preliminary appraisal, appeared to be suitable on the basis of a gross assessment of such factors as availability of industrial land for the plant, tailing disposal, access and power. Three of the sites are located in the general vicinity of Prince Rupert and Kitimat and the other is located on the northeast coast of Vancouver Island.

The sites share the common characteristic of having an excess of annual precipitation over annual evaporation as well as having suitable locations for deep water port facilities. These characteristics will have cost implications, with respect to the need for covered storage, waste disposal facilities and evaporative cooling.

Some characteristics of each site that effect the specific capital and operating cost estimated for a plant at those locations are summarized below:

Kitimat

A site on the western side of the Kitimat valley just to the south of the Little Wedeene River was selected as the basis for estimates of site costs at Kitimat (Figure I-1). The gently sloping site is located close to the sea and the existing Alcan smelter. Difficulties in design and construction of plant foundation due to the presence of thick layers of soft, silty clay would probably result in high foundation costs.

Rail access to the nodule plant would be via a 2 km spur from the adjacent Canadian National line while road access would be via an improved 2 km logging road from the service centre. Power would be provided by a one km transmission line connected to the adjacent British Columbia Hydro and Power Authority transmission line. It is assumed herein that the Little Wedeene River of the Kitimat River would be a source of water for the plant although further withdrawals from the Kitimat River may be difficult in view of its significance as a salmon stream.

A marine terminal could be readily established in Kitimat Arm which is protected and of sufficient water depth to provide for the passage of large ore carriers. Nodules or other process materials off-loaded at such a port or terminal would have to be transported approximately 12 km to the plant site.

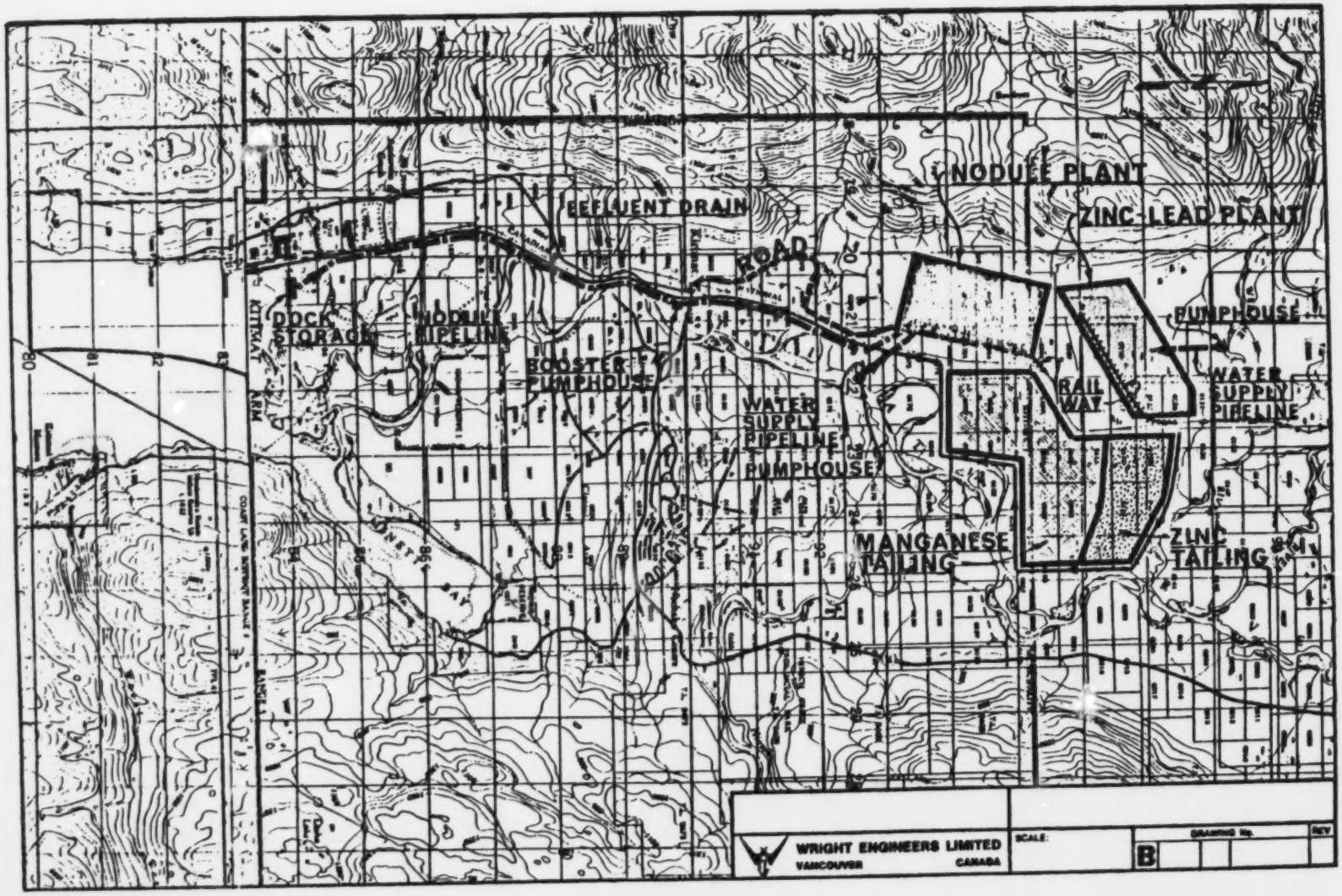


FIG. I-1. KITIMAT SITE

Adjacent to the plant site are extensive areas of flat, swampy ground where tailings dams and slag dumps could be located. As it will not be permissible to discharge effluent into the Kitimat River, run-off and seepage from the slag dumps or from the tailing ponds would have to be returned to Kitimat Bay via an effluent drain capable of handling the large volume discharge that results from the large area of the ponds and the high precipitation rates.

Emsley Creek

On the western side of Kitimat Arm between Kitimat and Jesse Lake, there appears to be sufficient reasonably flat land in the valley of Emsley Creek to accommodate a nodule plant (Figure I-2). The run-off at the head waters at Emsley Creek would have to be diverted into Jesse Lake.

Access to the Emsley site and to Jesse Lake would require the construction of some 20 km of road and 17 km of railway through very rugged and rocky country. An 18 km transmission line would have to be constructed. In each case, these services would originate from the vicinity of the Aluminum Company of Canada, Limited (Alcan) smelter. An adequate water supply is provided by Jesse Lake.

A good marine terminal site is available at Emsley Point. Deep water is close to shore and it is only a short distance from the plant site.

There is insufficient area to provide for tailings or slag disposal in the valley. It is assumed, therefore, that the disposal of tailings into the sea in Kitimat Arm would be the only feasible concept for this particular site. Granulated slag or tailings might be discharged into Kitimat Arm which is at that point about 3 km wide and up to 298 m deep. Water depths continue to increase to the south down Douglas Channel.

Smith Island

Smith Island is located 15 to 20 km to the south of Prince Rupert on the southern side of the mouth of Skeena River (Figure I-3). It is separated from the mainland by a shallow channel of Inverness Passage. On the northern side of the island there is an area of relatively level land below an elevation of 200' which would be large enough to accommodate the nodule plant.

Road and railway access to the plant site would be provided over a combined causeway and bridge located at the shallowest point of Inverness Passage where the maximum water depth is about 7 m. Connections could be made with the existing road from Prince Edward which would have to be improved and the Canadian National Railway which extends to Prince Rupert and runs along the shores of Inverness Passage on the mainland side. It is assumed that power would be supplied by British Columbia Hydro and Power Authority at Prince Edward and that a 7 km transmission line would have to be built to the plant site. Water supply would come from small dams built on three lakes on the northern side of the island.

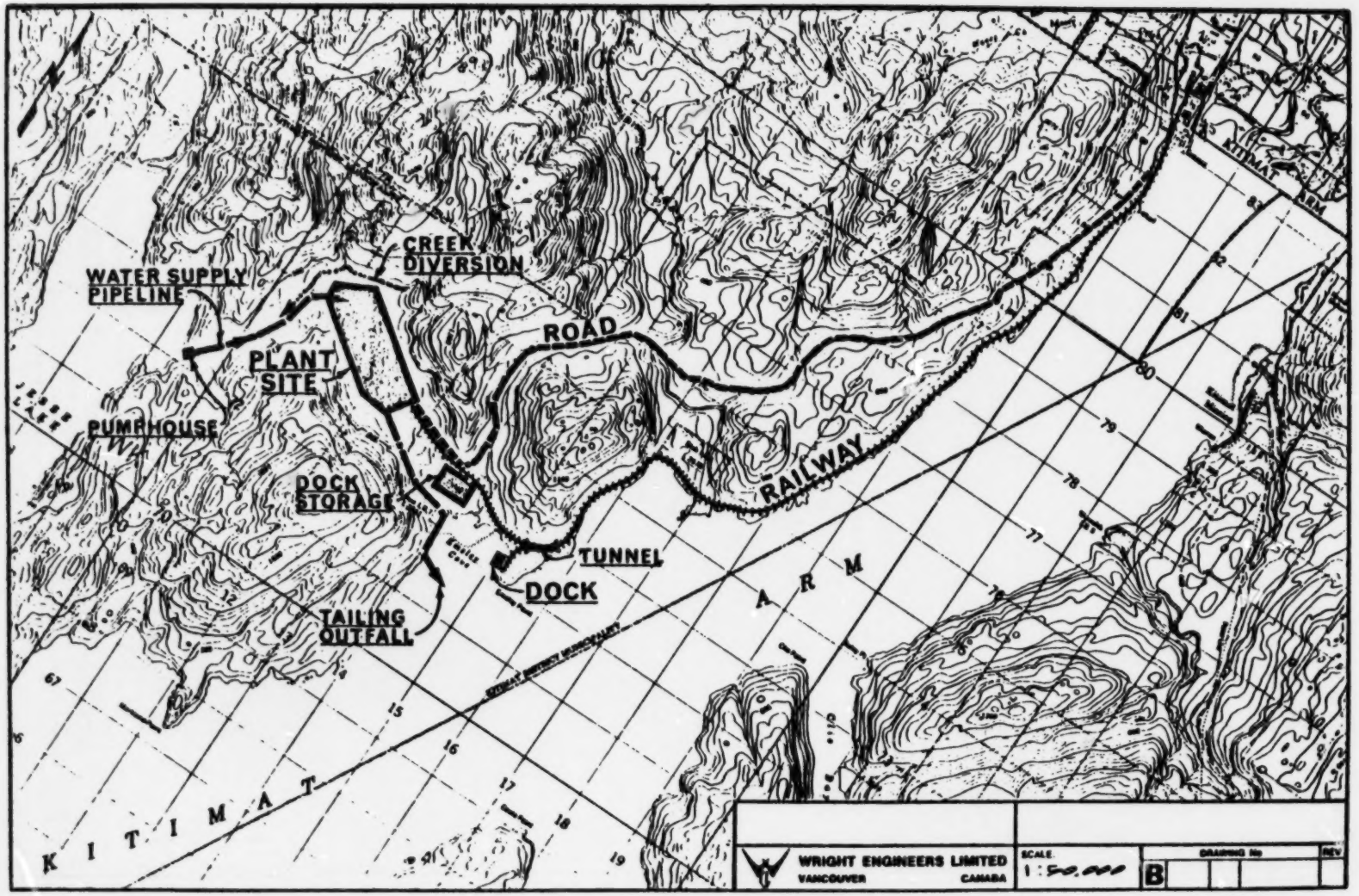


FIG. I-2. EMSLEY CREEK SITE

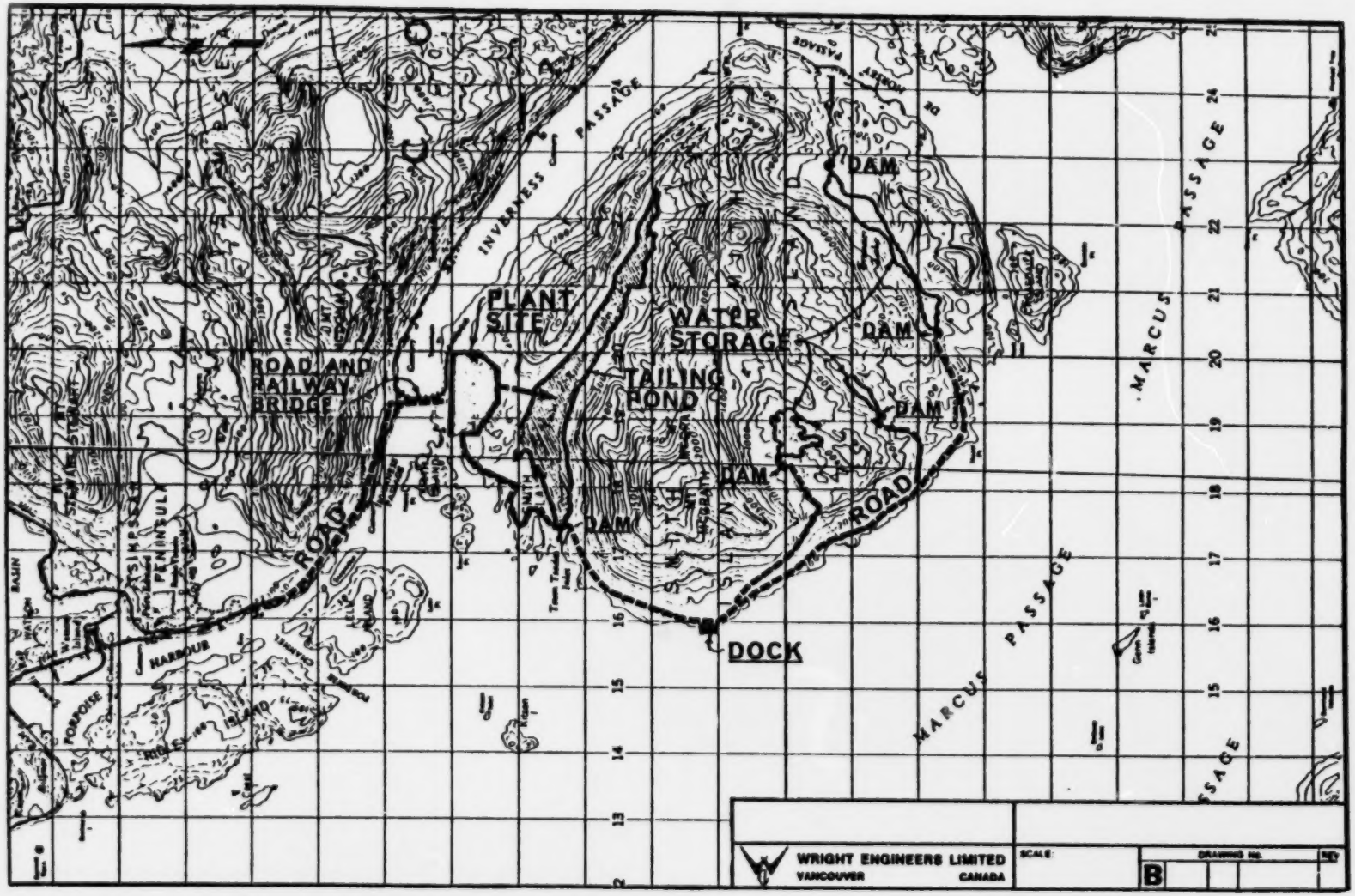


FIG. I-3. SMITH ISLAND SITE

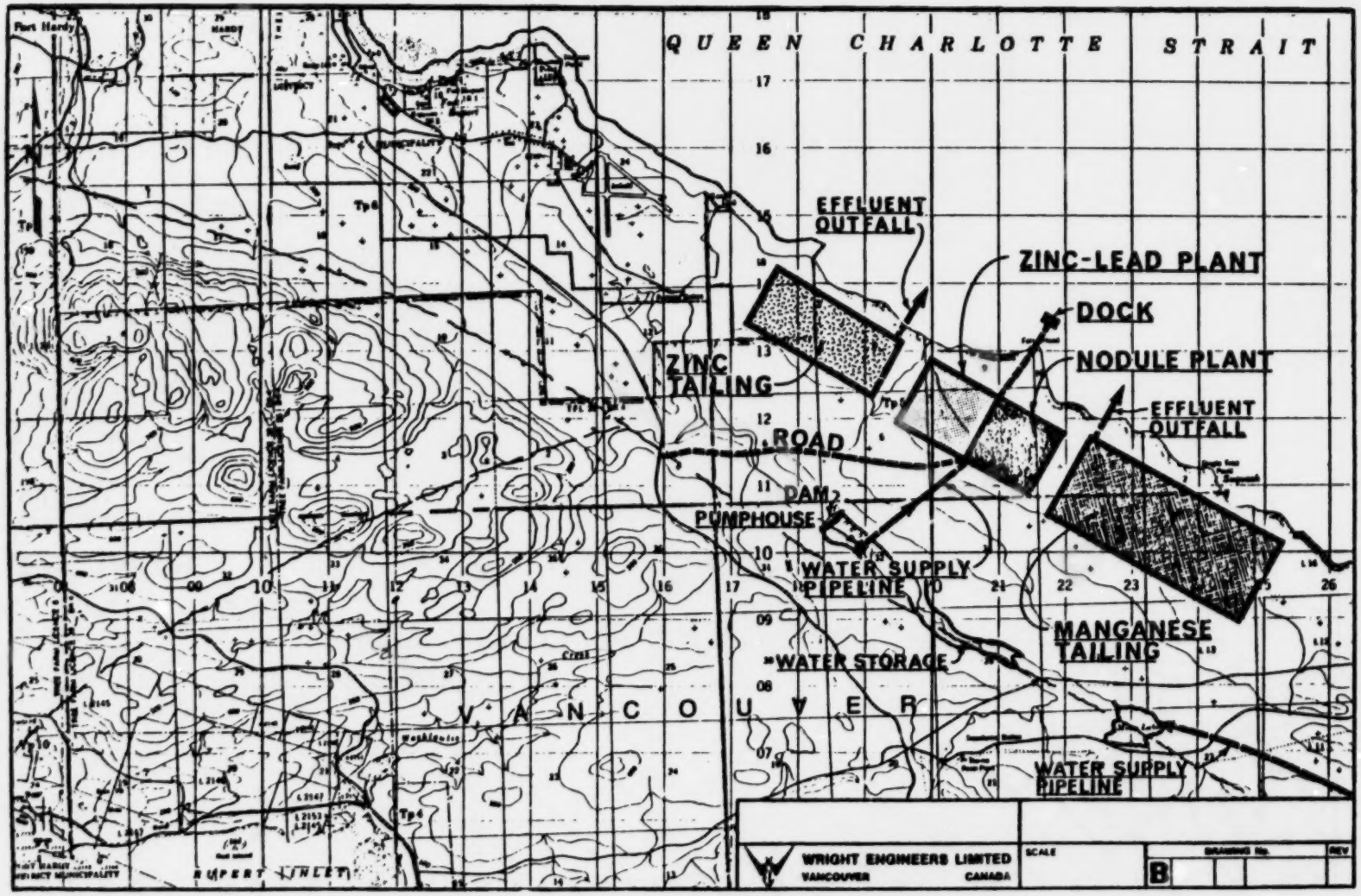


FIG. I-4. alternative 1 PORT HARDY SITE

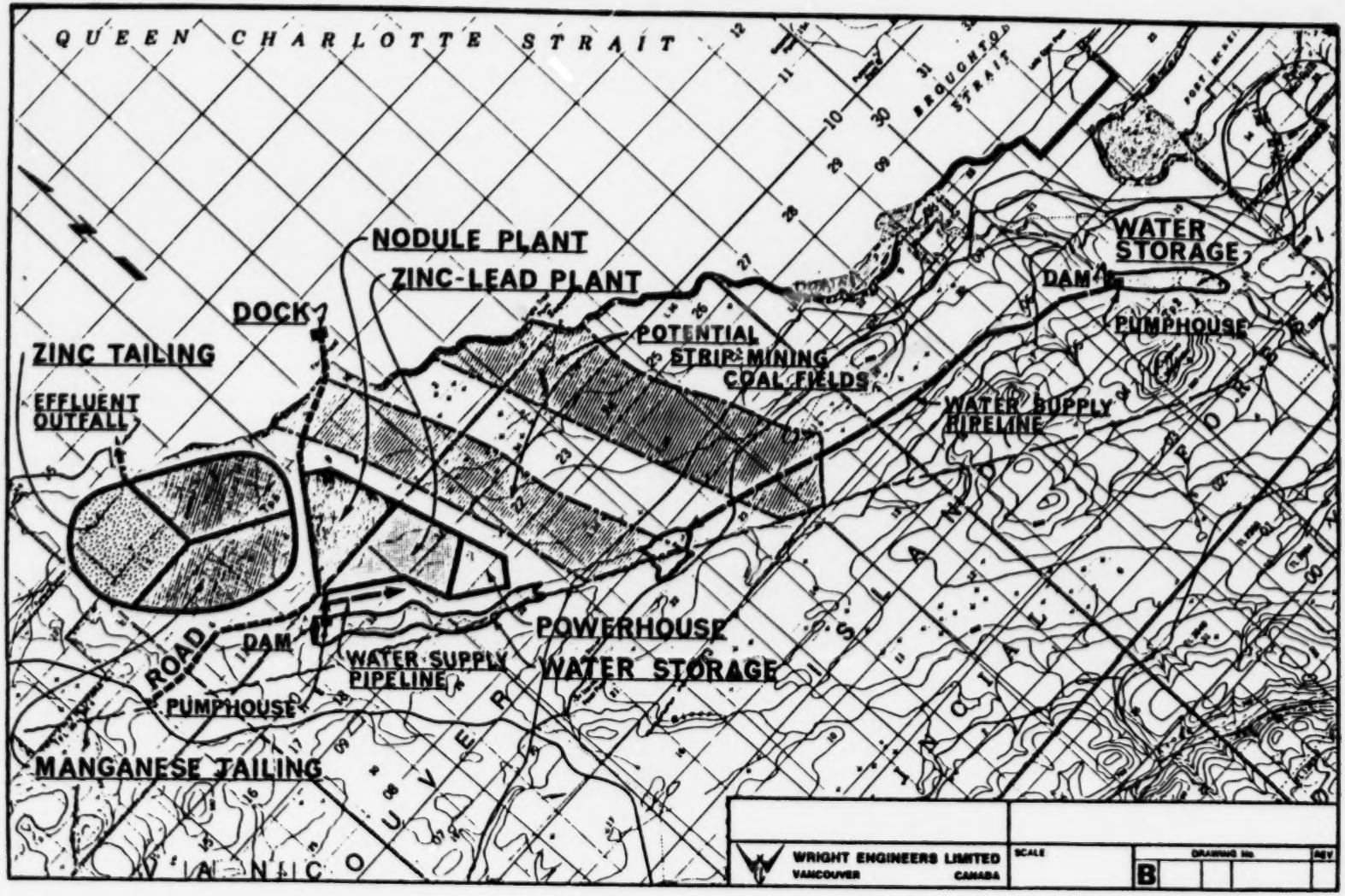


FIG. I-4. alternative 2 PORT HARDY SITE

A dock for the marine terminal could be located on the southern side of the island where there are water depths 10 fathoms close to shore and clear approaches for large ships. Although sheltered from most weather, the port site is open in western and northwesterly directions. Distance from the dock to the plant site is similar to that of the Kitimat site.

Immediately adjacent to the plant site is the Tsum Tsadai Inlet which appears to be a satisfactory site for tailings or slag disposal. Sufficient storage for 20 years of output of tailings from the Kennecott process could be provided for by a dam having a maximum height of the order of 45 m along a crest length of about 200 m.

Port Hardy

Between Port McNeill and Port Hardy there is an extensive area of relatively level land that would be suitable for locating a nodule processing facility (Figure I-4). The site is, however, located in a seismic active area and would require that the plant structures be designed to resist strong earthquakes.

Access to the plant would involve the construction of a 3 km road. As there are no railway facilities to northern Vancouver Island, process material would be delivered by sea. B.C. Hydro generating and transmission line capacity in the area is inadequate to supply quantities of power thus necessitating the construction of power facilities required by the specific plant. Water to the plant could be provided by reservoirs formed by the construction of low storage dams (less than 20 m) on the Kaogh or Cluxewe Rivers.

Dock facilities could be provided for at False Head where water depths of 18 m occur at a distance 600 m offshore. The location is exposed to weather from several directions.

Assuming that tailing disposal areas would be located away from "potential strip mining coal fields" in the area, the drop in ground surface elevation over the width of the pond would be nearly 200'.

Coal requirements might be supplied from the Suquash Coal Field should it be developed. In addition, large quantities of high quality limestone could be provided from sources on Vancouver Island.

MRI 82/5

SECTEUR DE LA POLITIQUE MINÉRALE
RAPPORT INTERNE

ESTIMATIONS DES COÛTS D'INVESTISSEMENT: INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES NODULES DE MANGANÈSE DU KENNECOTT JOINT VENTURE

D.E.C. KING
Secteur de la politique minérale

D.W. PASHO
Division de l'exploitation minière en mer
Administration du pétrole
et du gaz des terres du Canada

Énergie, Mines et Ressources Canada
Minéraux

Energy, Mines and Resources Canada
Minerals

CANADA

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES

OTTAWA

RAPPORT INTERNE DU SECTEUR DE LA POLITIQUE MINÉRALE
MRI 82/5

ESTIMATIONS DES COÛTS D'INVESTISSEMENT: INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES NODULES DE MANGANÈSE DU KENNECOTT JOINT VENTURE

Préparé conjointement avec le Comité ministériel
de coordination de l'exploitation minière des fonds marins
Étude de l'exploitation des grands fonds marins

par

D.E.C. King
Secteur de la politique minérale

et
D.W. Pasho
Division de l'exploitation minière en mer
Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada

Août 1980

Catalogue No. M35-2/82-5
ISBN no. 0-662-52216-8

PRÉFACE

Le présent rapport fait partie d'une série de quatre rapports internes* préparés en même temps qu'une évaluation détaillée des ressources des grands fonds marins effectuée par le Groupe de travail sur les grands fonds marins du Comité ministériel de coordination de l'exploitation minière des fonds marins. A l'origine, ces rapports étaient destinés au personnel du Ministère. Cependant, on a décidé de les publier en raison des données importantes qu'ils contiennent et de leur forme qui se prêtait bien à la publication car il n'y avait nul besoin de modifier énormément le texte original. Dans certains cas, les illustrations sont les mêmes que celles des rapports originaux pour des raisons d'économie de temps et d'argent.

---

* Initiallement rapport interne de la Direction de la Gestion des ressources 1980-6
(Estimations des coûts Kennecott)

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
Historique et objectifs	1
Approche	2
RÉSUMÉ DU PROCÉDÉ	3
FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT	7
Base des estimations	7
Explication des coûts	8
Constitution des réserves, récupération et manutention	13
Lixiviation, réduction et lavage	13
Régénération et traitement de l'effluent	15
Extraction par solvants	15
Récupération du cobalt	15
Électrolyse	16
Élimination des déchets	16
Autres frais	17
Profil des dépenses de premier établissement	19
FRAIS D'EXPLOITATION	21
Base des estimations	21
Explication des frais	21

ANNEXE

I	Description de certains sites possibles pour la construction d'une usine de traitement en Colombie-Britannique	25

FIGURES

1	Schéma du procédé	5
2	Emplacement de divers sites de traitement possibles en Colombie-Britannique	10

TABLEAUX

		Page
1.	Frais de premier établissement: aménagement du site	11
2.	Frais de premier établissement: installations secondaires	12
3.	Stockage des produits nécessaires au procédé	14
4.	Frais de premier établissement: constitution des réserves, récupération et manutention	14
5.	Frais de premier établissement: lixiviation par réduction et lavage	15
6.	Frais de premier établissement: affinage électrolytique	16
7.	Frais de premier établissement: élimination des déchets	17
8.	Exigences relatives au terrain	18
9.	Résumé des frais de premier établissement	19
10.	Profil des dépenses d'investissement	20
11.	Coût des produits nécessaires au procédé	22
12.	Répartition de la main-d'oeuvre	23
13.	Résumé des frais d'exploitation annuels	24

INTRODUCTION

Historique et objectifs

Afin de fournir une base technique solide pour l'élaboration d'une politique applicable aux ressources des fonds marins, le Comité de coordination de l'exploitation minière des fonds marins du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources a entrepris une étude d'envergure sur les aspects techniques et économiques de l'exploitation des ressources des fonds marins. Les travaux de base portant sur le traitement des nodules de manganèse des fonds marins ont progressé, passant de l'étude générale des techniques de pointe à de brèves études plus spécifiques des procédés pouvant être utilisés par des consortiums miniers individuels s'occupant de l'exploitation des fonds marins.

A la suite de ces études préliminaires, on a examiné les différents procédés disponibles dont on en a retenu deux pour étudier plus en détail les techniques et les coûts probables. Le traitement hydrométallurgique des nodules constituait l'un de ces procédés que le Kennecott Joint Venture pourrait utiliser. Les renseignements concernant ce procédé ont été compilés et sont présentés dans un rapport préliminaire préparé par les auteurs et intitulé "Modèle général d'estimation: Installations de traitement des nodules de manganèse du Kennecott Joint Venture" (août 1979). Le modèle sert de base à l'évaluation des coûts du secteur traitement de l'exploitation en mer de l'Ocean Management Inc.

Les estimations de coûts établies dans le présent rapport sont fondées sur des versions antérieures du modèle d'estimation du Kennecott Joint Venture pour le secteur traitement. On prévoit utiliser ces estimations avec des estimations de coûts calculées, à partir d'un modèle compatible, pour les secteurs exploitation et transport, afin d'obtenir une estimation complète des coûts d'ensemble d'une exploitation en mer intégrée.

Ces estimations peuvent ensuite être utilisées pour:

1. comparer la rentabilité des travaux d'exploitation en mer prévus avec celle des travaux d'exploitation terrestres actuels et projetés afin d'évaluer la rentabilité relative, la date du début des travaux et le taux de croissance de l'industrie, ainsi que les répercussions sur les producteurs qui exploitent des gisements terrestres, comme le Canada;

2. évaluer dans quelle mesure la rentabilité des travaux d'exploitation des fonds marins peut fluctuer, afin d'étudier les mécanismes possibles d'octroi de subventions et de comparer la répercussion des variations de différents paramètres, comme l'énergie, la main-d'oeuvre et les frais de premier établissement;

3. fournir des exemples raisonnables qu'on pourrait utiliser afin d'évaluer les dispositions financières négociées à la Conférence sur le droit de la mer et le mode d'imposition des exploitations des fonds marins par les gouvernements fédéral et provinciaux;

4. fournir une base pour l'analyse des coûts et des profits d'une usine de traitement au Canada et comparer un site canadien aux autres sites considérés; et

5. fournir une base pour évaluer la quantité de métaux économiquement récupérables des nodules de manganèse provenant des grands fonds marins (en tant que ressource).

Approche

Dans le modèle d'estimation, les principaux postes qui ne seraient pas influencés par le choix du site étaient élaborés plus ou moins en détail, mais les postes spécifiques au site n'étaient exposés que de façon superficielle. La présente approche visait à accroître la souplesse au maximum, de sorte que l'estimation des coûts pour une exploitation intégrée pourrait être facilement établie pour plus qu'un site prévu pour une usine de traitement en introduisant séparément les éléments et les coûts spécifiques au site se rapportant à l'emplacement choisi.

En se basant sur l'ordre de grandeur du modèle d'estimation, Les Mines Falconbridge Nickel Limitée* ont évalué, dans le cadre d'un contrat exécuté conjointement avec la Direction générale de l'évaluation des ressources et la Division du développement régional du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (Canada), les frais de premier établissement et les frais d'exploitation pour les principaux postes non spécifiques au site.

Une étude réalisée conjointement avec le ministère chargé du développement économique de la Colombie-Britannique et concernant un complexe d'usines de fusion hypothétique situé sur la côte ouest a permis d'évaluer l'ordre de grandeur des coûts pour des postes spécifiques au site. Ces évaluations portant sur l'emplacement possible d'usines de traitement en Colombie-Britannique ont été préparées par la Wright Engineers Limited (Vancouver) et la H. Halverson and Associates (Vancouver), sous contrat pour le compte du Ministry of Economic Development de la Colombie-Britannique.**

---

* "Economics of Processing Deep Seabed Manganese Nodules: An Information Package Containing Cost Estimates for Modelled OMI and Kennecott Manganese Nodule Processing Facilities 1979".

** "B.C. Metallurgical Complex Study", 1979 (Version préliminaire).

Les renseignements obtenus auprès de la Falconbridge et de la Wright Engineers ont été étudiés et ajustés dans la mesure où ils étaient appropriés, afin d'assurer la compatibilité avec les éléments pour lesquels on fait des prévisions de coûts.

Les documents préparés par G. Wittur et O. Fisher de l'ÉMR en vue d'être inclus dans l'étude des sites possibles de traitement en Colombie-Britannique se sont avérés très utiles.*

D'autres renseignements ont été obtenus à partir d'autres études de faisabilité:

1. "Feasibility Study: Nickel-Copper Project Pardu Township, Ontario", Rapport préparé par la Parsons-Jurden Corp. pour le compte de la Great Lakes Nickel Limited, mars 1979.

2. "Nickel Recovery from Western Sources," **Task 1 - Report** - Évaluation technique et économique effectuée par Singmaster and Breyer pour le compte du United States Bureau of Mines, décembre 1975.

RÉSUMÉ DU PROCÉDÉ

Le procédé Cuprion de la Kennecott Corporation, comme le procédé Caron utilisé à Cuba, est basé sur la lixiviation du nickel à l'aide du carbonate d'ammonium. Dans le procédé Caron, le minerai de latérite est séché puis réduit une première fois à haute température avec des gaz. Le procédé Cuprion a été mis au point pour éliminer cette étape qui requiert beaucoup d'énergie et la remplacer par une réduction des ions cuivreux durant la lixiviation. Les ions cuivriques formés au cours de la réduction sont régénérés en ions cuivreux avec du monoxyde de carbone. Le nickel, le cuivre et le cobalt constituant la liqueur de lixiviation sont séparés puis récupérés par extraction par solvants et par affinage électrolytique. La Figure 1 présente un schéma des différentes étapes du procédé. Même si ce procédé requiert moins d'énergie au cours de la réduction, la récupération de l'ammoniac, à partir de divers points d'un circuit où les concentrations varient, nécessite un apport d'énergie important.

Voici un résumé des quantités importantes:

Qualité des nodules (% masse sèche)	
nickel	1,45
cuivre	1,25
cobalt	0,25
manganèse	25,00

---

* "Economics of Manganese Nodule Processing in British Columbia", Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Canada et Ministry of Economic Development, Colombie-Britannique (rapport préliminaire).

Consommation de nodules	
masse humide	3 887 269 tm/an (11 780 t/j)
masse sèche	2 721 088 tm/an (8 246 t/j)

Utilisation de l'usine 330 jours par année

Production (cathodes cisaillées)	
nickel	35 116 tm/an
cuivre	30 613 tm/an
cobalt	3 402 tm/an
Résidus de lixiviation (secs)	2,7 x 106 tm/an

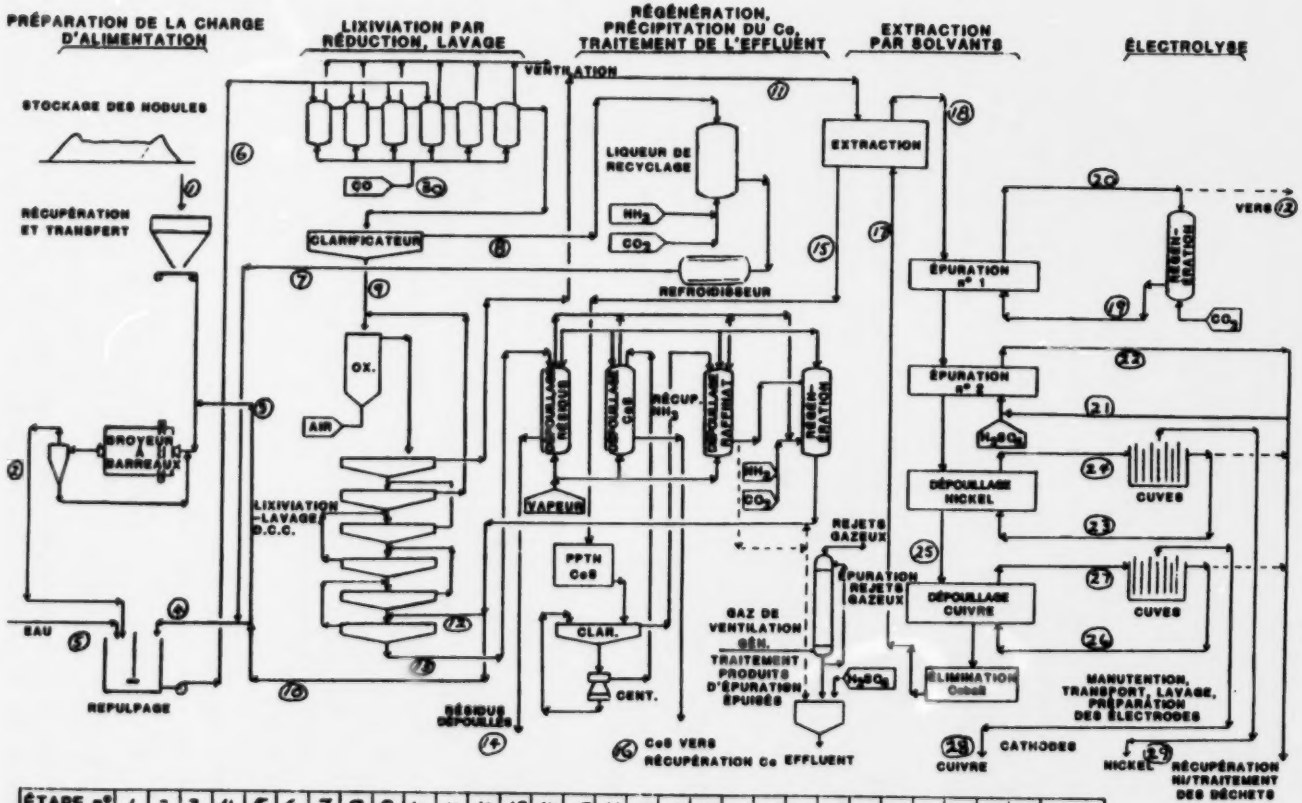
On suppose que les nodules concassés sont pompés sous forme de boue à partir du minéralier et acheminés directement vers les principaux bassins de stockage situés à l'usine, en utilisant le système Marconaflo ou une méthode semblable. En tout, les bassins de stockage renferment une réserve de nodules suffisante pour deux mois au maximum. La récupération des nodules en vue de l'alimentation de l'usine est assurée par une pompe aspirante montée sur une barge. Il y a un certain assèchement par filtration avant le repulpage des nodules avec la liqueur de lixiviation et broyés dans des broyeurs à barreaux; ainsi, tous les nodules sont réduits en un produit de granulométrie inférieure à 60 mailles, dont 60 % présente environ une granulométrie inférieure à 200 mailles.

Le circuit de lixiviation qui reçoit une pulpe de faible densité après le broyage comporte plusieurs étapes. Les solides transformés en pulpe subissent successivement: réduction, clarification, oxydation-lixiviation, décantation-lavage à contre-courant et plusieurs récupérations de l'ammoniac avant que les résidus ne soient finalement endigués.

Au cours de l'étape de réduction, on fait barboter du gaz de gazogène riche en monoxyde de carbone dans la boue de nodules renfermant une solution de carbonate d'ammonium concentrée en présence d'un excès d'ions cuivreux. Le bioxyde de manganèse est réduit par les ions cuivreux puis converti en carbonate manganeux. La dégradation de la structure minérale libère les métaux communs qui forment des complexes d'ammonium solubles. Dans cette étape, la pression n'est que légèrement supérieure à la pression atmosphérique et la température est d'environ 50°C; c'est pourquoi les contenants et les pompes peuvent être construits en acier doux. L'usine nécessiterait une capacité équivalente à deux rangées de six réservoirs montés en série, chaque réservoir ayant un diamètre de 10 mètres et une hauteur de 16 mètres.

Après l'étape de réduction-lixiviation, la boue passe dans le clarificateur, ou on la laisse reposer, de sorte que la liqueur décantée puisse être recyclée au cours d'une étape de régénération en vue d'augmenter la teneur en ammoniac et en bioxyde de carbone avant recyclage dans le circuit de broyage. La sous-verse provenant du clarificateur unique, d'un diamètre d'environ 46 mètres, passe dans les réservoirs d'oxydation-lixiviation. Pour respecter les exigences apparentes relatives au temps de

Fig. 1 SCHÉMA DU PROCÉDÉ



ÉTAPE n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P.D. %Solides	60	35				5			81				45	95		65														
t/m³ Solides	2140	2140				2140			2140				2140	2140		1.9														
t/m³ Solution	1.03	1.20	1.17	1.23	1.18	1.26	1.26	1.26	1.18	1.21	1.18	1.20	1.26	1.26	1.18	1.9												1.27	1.27	(Citrate)
t/m³ Pulpe	1.72	1.28				1.14			1.14				1.14	1.14		2.9														
m³/h Aqu.	1.29	617	2.10	1.19	1.16	1.17			1.24	1.29	1.24	1.27	1.27	1.27	1.24				919	919	1.27	1.27	1.63	1.63		387	387			Co 96 Ni 4 (E.C.A.)
m³/h Org.																	1.25	1.25							1.25					
t/m³ Org.																	1.028	1.028							1.051					
g/l ou %Co	6.25										6.26				0.25		0.5	2.45	0	0	0	0	0.05	0.05	2.45	37	47	4 g/l		Co ~ 50%
g/l ou %Ni	1.95										4.16				0.25		0.05	3.54	0	0	0.55	0.55	50	0.77	0.05	1.8	1.5	1.5 g/l		Ni ~ 38%
g/l ou %Cu	0.35										0.54				0.25		0.01	0.07	0	0	—	—			0.07	0.02	0.02			Mn ~ 9%
g/l NH_3							Aucun					180			0.5		0	2.46	17	25	27	27	0.21	0.21	0	0.15	0.14			Al ~ 1%
g/l CO_2							16		25			180			0.5															
Temp. °C							40	20	20		40																			
pH								10.6																						
																							3.0	3.0						

FIGURE 1
MODÈLE ILLUSTRANT LE TRAITEMENT DES NODULES DES GRANDS FONDS MARINS BASÉ SUR LE PROCÉDÉ ÉVENTUEL KENNECOTT

séjour de cette étape, la capacité des réservoirs doit être importante, soit l'équivalent de deux rangées de neuf réservoirs dont chacun a les dimensions des réservoirs servant à la réduction-lixiviation. On fait barboter de l'air dans la pulpe lixiviée afin d'oxyder le cuivre, le cobalt et le fer. Il y a une lixiviation supplémentaire au cours de cette étape.

La solution métallifère est récupérée par séparation liquide/solide en déversant la pulpe, après l'étape d'oxydation-lixiviation, dans un circuit de lavage continu à contre-courant comportant deux rangées de six épaississeurs dont chacun a un diamètre d'environ 72,5 mètres.

Le trop-plein de la liqueur riche provenant du circuit de lavage est retenu dans des réservoirs d'équilibre avant d'être pompé dans les filtres sous pression du clarificateur, puis amené dans le circuit d'extraction par solvants. Il existe six filtres "de finition", d'une superficie filtrante de 56 mètres carrés chacun.

La solution riche et limpide, renfermant respectivement environ cinq et six grammes par litre de cuivre et de nickel et environ un demi-gramme par litre de cobalt, passe dans le circuit d'extraction par solvants à contre-courant comportant trois étapes, pendant lesquelles se produit l'extraction du cuivre et du nickel et d'une petite quantité d'ammoniac. Il faut éliminer l'ammoniac du courant organique avant de procéder à l'extraction du nickel et du cuivre. Cette élimination est réalisée en deux opérations d'épuration successives à contre-courant, utilisant d'abord de l'eau puis du sulfate d'ammonium faiblement acide. L'ammoniac est éliminé à l'aide de vapeur et cette vapeur passe ensuite dans la section de récupération de l'ammoniac.

Le nickel est extrait des solvants dans des conditions légèrement acides en trois étapes à contre-courant. Les solvants sont ensuite débarrassés du cuivre dans des conditions plus acides. Avant le recyclage, les solvants prélevés du circuit sont débarrassés du cobalt au moyen du procédé Kennecott récemment breveté. Tous les déchets solides (mélanges de solides organiques émulsifiés, de solides organiques dégradés et de petites particules) susceptibles de s'être accumulés dans les solvants sont éliminés par centrifugation puis incinérés. Les solvants entraînés dans différents circuits aqueux sont séparés par décantation ou centrifugation puis retournés dans les réservoirs d'équilibre de la solution organique en vue d'un recyclage ultérieur.

La solution aqueuse épuisée, ou "raffinat", provenant des étapes d'extraction initiales est traitée pour éliminer le cobalt sous forme de sulfure qui est alors traité dans un circuit distinct d'extraction du cobalt. Le raffinat exempt de cobalt passe dans un circuit réactif où l'ammoniac et le bioxyde de carbone sont recyclés.

Le nickel et le cuivre sont récupérés par affinage électrolytique à partir de leur solution d'extraction respective. L'affinage électrolytique est effectué en circuit fermé avec la solution d'extraction correspondante, et dans chaque cas l'électrolyte épuisé est recyclé dans le circuit d'extraction par solvants en vue de récupérer davantage de métal de la charge organique.

Les précipités de sulfure de cobalt contenant des impuretés et provenant de la purge du raffinat et des solvants peuvent être traités de différentes façons pour récupérer le cobalt. Les procédés peuvent varier dans les détails, mais généralement ils comportent une nouvelle lixiviation du sulfure, une extraction par solvants pour éliminer le cuivre et le nickel ainsi que le zinc et le molybdène s'il y a lieu et un affinage électrolytique du cobalt présent dans le raffinat. Même si l'usine de récupération du cobalt est assez complexe, les quantités traitées par lots sont relativement faibles.

Kennecott n'a pas manifesté son intention de récupérer initialement le manganèse contenu dans les résidus de lixiviation. Cependant, Kennecott aurait obtenu lors d'essais de flottation des concentrés de manganèse en quantité et de qualité commerciales à partir des résidus de lixiviation. Si l'étape de flottation pouvait être appliquée commercialement, elle permettrait de vendre des concentrés de manganèse ou de réaliser la fusion de ferromanganèse sur place.

Outre les opérations principales , il faut des installations secondaires nécessaires pour la régénération du gaz réducteur pour l'étape de lixiviation, l'alimentation en eau et la production de vapeur et d'électricité, le refroidissement de l'eau, l'aération et la récupération des gaz. Les effluents liquides sont recueillis et traités à la chaux avant d'être éliminés.

FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

Base des estimations

Les frais de premier établissement pour les principaux emplacements ont été estimés par Les Mines Falconbridge Nickel Limitée. D'après le modèle d'estimation, on a préparé un schéma de l'installation et l'on a évalué les éléments spécifiques à cette installation. Les coûts pour certaines parties de la constitution des réserves, de la récupération, de la manutention (préparation de la charge d'alimentation), de la lixiviation par réduction, du lavage, de la régénération, du traitement de l'effluent et de l'extraction par solvants ont été élaborés d'après les estimations de coûts établies à partir des estimations de l'installation. On a prévu des sommes pour les installations, les canalisations, l'appareillage électrique, les instruments et les bâtiments. Une somme globale a été estimée pour l'électrolyse.

Les frais de premier établissement sont basés sur les prix du vendeur ou sur l'expérience au niveau du traitement. Ils comprennent le coût unitaire, le transport et l'installation qui sont exprimés en dollars canadiens de la fin de 1978, tout en supposant que le site se trouve dans la région de Prince Rupert. La précision des coûts est comprise, estime-t-on, entre -20 % et +50 %.

Les frais correspondant à l'aménagement du site, aux installations secondaires et à l'élimination des déchets ont été calculés par la Wright Engineers Limited de Vancouver, pour quatre sites de traitement

situés en Colombie-Britannique. L'état du site de Kitimat, d'Emsley Creek, de l'île Smith et de Port Hardy (Fig. 2) est résumé à l'Annexe I et semble représenter un éventail assez large des caractéristiques possibles d'un site; on a inclus en outre diverses exigences relatives à l'infrastructure. D'après la Wright Engineers Limited, les frais estimés pour chaque site doivent être considérés comme "très approximatifs", en raison de la brièveté de leur étude et de l'insuffisance de données détaillées, comme la topographie et l'état du sol. Les frais ont été calculés en dollars canadiens de 1978. Les auteurs ont, au besoin, rajusté les frais et éliminé les recoupements entre les données de la Falconbridge et de la Wright Engineers.

En général, on a élaboré la structure du modèle simulant les coûts plus que ne le justifiait la précision des estimations ou des sommes prévues. On a procédé ainsi pour faciliter l'élaboration du modèle, pour assurer une certaine souplesse dans son application et pour en favoriser l'amélioration ultérieure.

Explication des coûts

Aménagement du site: Aux fins de la présente étude, on suppose, à l'exception des habitations à l'intention des cadres supérieurs, qu'aucun investissement de sociétés n'a été fait pour l' **infrastructure d'une communauté***, comme les habitations, les écoles, les services de santé, etc. On évalue les coûts à environ 7,5 millions de dollars.

On considère que les **frais généraux sur le terrain****, couvrant les services publics, les voyages, la sécurité, l'administration, etc., lors de la construction, sont inclus dans les estimations individuelles des différents secteurs de l'usine.

Les coûts de la **préparation du site** comprennent le déboisement, le nivellement, le drainage et la préparation des fondations. Les coûts de déboisement ont été établis d'après la végétation inférieure existant dans les sites considérés au moment de leur inspection. Étant donné qu'on ne disposait pas de données suffisantes sur la topographie et l'état du sol de chaque site, on a supposé une somme constante de 10 millions de dollars pour l'excavation, le nivellement, le drainage et les travaux de fondation. Dans le cas du site d'Emsley Creek, on a prévu une somme supplémentaire de 1 million de dollars pour détourner le ruisseau. Ces évaluations ne comprennent pas le coût des structures de fondation de l'usine (comme les semelles filantes, les dalles, les pieux, etc.).

Les estimations pour les **services périfériques,** comme la voie ferrée, les routes, les ponts, les lignes de transport d'énergie, les sous-stations et les installations pour l'approvisionnement en eau ont été faites pour les sites individuels, en se basant sur les distances et les

---

* Les articles en caractères gras correspondent à des coûts dans les différents tableaux.

** Ces coûts ont été traités comme une catégorie distincte dans le modèle.

renseignements dont on disposait sur la topographie, l'état du sol, etc. Ces estimations pourraient être considérées comme particulièrement douteuses là où il est nécessaire de construire des barrages de retenue (île Smith et Port Hardy), on ne dispose particulièrement d'aucune donnée sur l'emplacement de ces barrages et sur la provenance des matériaux nécessaires à leur construction.

Les **services sur le chantier** comprennent les systèmes de distribution d'eau et d'électricité dans le site. Le réseau de distribution d'eau comprend les bouches d'incendie et les égouts. Le système de refroidissement de l'eau comprend les tours de refroidissement qui, suppose-t-on seront installées dans le site ou à proximité de l'usine; la différence de hauteur de charge sera minimale entre les différentes usines. Une somme séparée, évaluée à 11 millions de dollars, a été prévue pour les camions, les chargeuses, les élévateurs à mâchoires et tout autre matériel mobile devant être utilisé dans l'usine. L'estimation relative à la manutention des matériaux comprend aussi la distribution par rail sur le chantier.

La disposition des installations de traitement et les volumes importants de produits nécessaires pour soutenir les opérations exigent à l'intérieur de l'usine un système de transport sur rails relativement important pour le transfert efficace de certains produits en vrac et le transport de la plupart des produits finaux. L'estimation relative à la manutention des matériaux nécessaires au procédé tient compte de l'équipement et du halage locaux.

Le Tableau 1 donne le résumé des coûts pour l'aménagement du site.

Installations secondaires: Parmi les **installations secondaires** pour lesquelles on a prévu des sommes, on compte les bâtiments secondaires, un terminal maritime, un système pour le transport sur terre pour le transport des nodules du terminal maritime jusqu'au site de l'usine et des usines de production de gaz (Tableau 2).

Les **bâtiments secondaires** sont pré-fabriqués et comportent une charpente en acier; ils comprennent un entrepôt général, des ateliers de réparation et d'entretien, un garage pour les véhicules, des bureaux, un laboratoire, une balance pour les camions, un réfectoir, des vestiaires et les bâtiments de l'entrée principale. On tient compte aussi d'autres bâtiments dans des postes spécifiques.

Dans les estimations pour le **terminal maritime,** on suppose que le transport de la boue de nodules vers le rivage est réalisé à l'aide d'un système Marconaflo et d'un système d'amarrage à monobouée. Pour le terrain, on prévoit une somme de 1 500 dollars/acre et un maximum de 30 acres. On prévoit des installations pour le chargement des minéraliers ou des barges, le transfert des matériaux et le stockage des produits. Toutefois, vu que la plupart des matériaux nécessaires au procédé sont livrés par voie ferrée, ces exigences ne sont pas excessives. Dans le cas de Port Hardy, des installations de stockage supplémentaires pour les minéraux pourraient s'avérer nécessaires, car tous les matériaux arrivent par minéralier/barge.

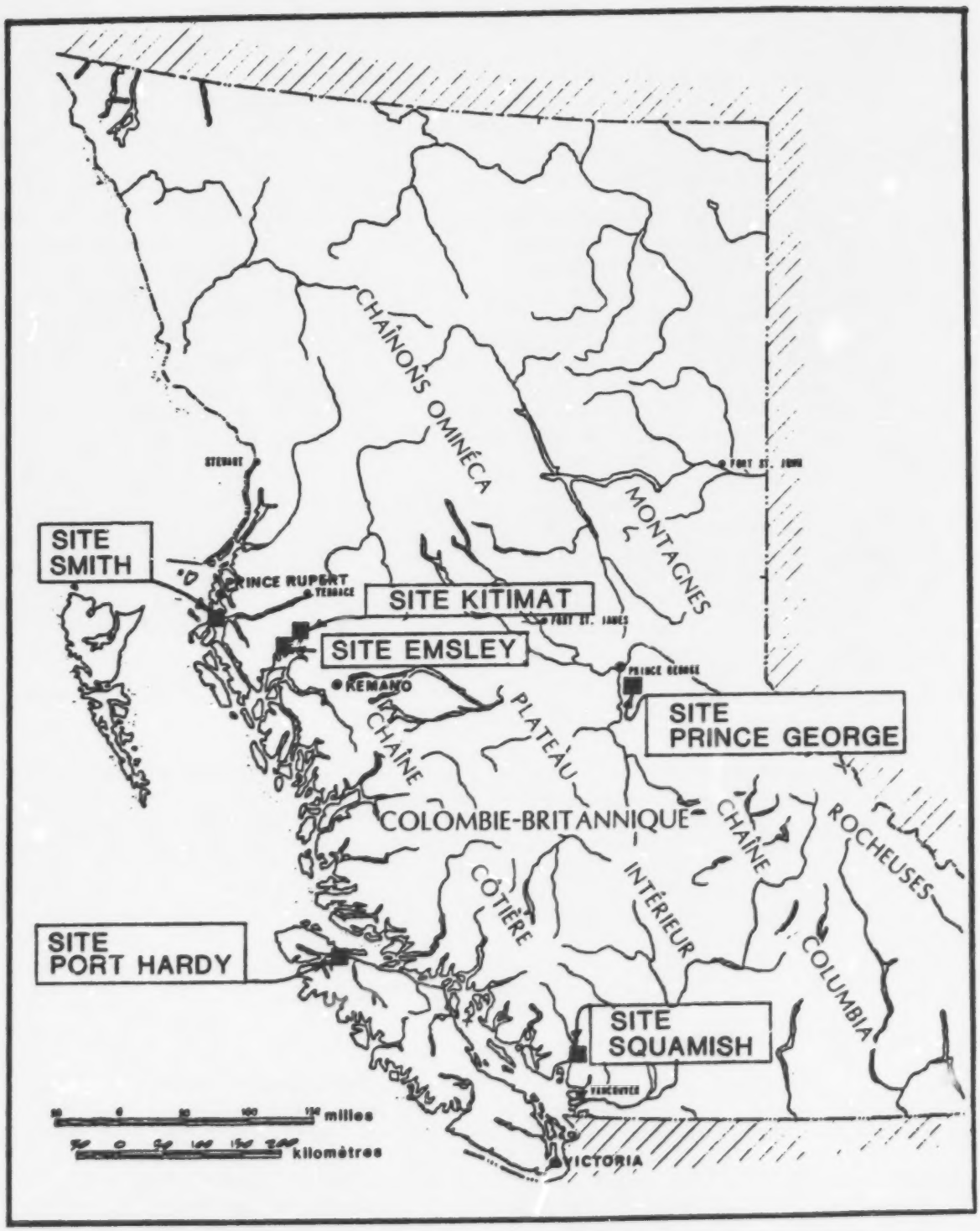


FIG. 2. EMPLACEMENT DE DIVERS SITES DE TRAITEMENT POSSIBLES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

TABLEAU 1

Frais de premier établissement: aménagement du site

	Kitimat	Emsley Creek	Île Smith	Port Hardy
	(millions de dollars)			
Infrastructure de la communauté				
Habitations à l'intention des superviseurs	7,5	7,5	7,5	7,5
Frais généraux sur le terrain	(inclus dans les estimations des différents secteurs de l'usine, voir texte)			
Préparation du site				
Déboisement	1,8	1,6	1,6	6,0
Nivellement et drainage	10,0	11,0	10,0	10,0
Sous-total	11,8	12,6	11,6	16,0
Services périphériques				
Voie ferrée	0,8	14,4	4,5	(1)
Routes	0,2	2,4	2,6	0,5
Lignes de transport d'énergie	0,4	1,0	0,4	(2)
Approvisionnement en eau	1,2	1,1	4,3	10,5
Sous-total	2,6	18,9	11,8	11,0
Services sur le chantier				
Matériel mobile	11,0	11,0	11,0	11,0
Distribution d'eau	1,5	1,5	1,5	1,5
Système de refroidissement	4,0	4,0	4,0	4,2
Routes, aires de stationnement, clôture	1,0	1,0	1,0	1,0
Sous-total	17,5	17,5	17,5	17,7
TOTAL	39,4	56,5	48,4	52,2

(1) Aucun service de chemin de fer pour le nord de l'Île de Vancouver.

(2) Barrages nécessaires.

Le coût du transport du minerai sur terre à partir du terminal maritime jusqu'à l'usine de traitement comprend le coût des canalisations et des stations de pompage nécessaires à chaque site spécifique.

On prévoit des installations de **production de gaz** pour la production d'oxygène et de monoxyde de carbone.

TABLEAU 2
Frais de premier établissement: installations secondaires

	Kitimat	Emsley Creek	Île Smith	Port Hardy
	(millions de dollars)			
Bâtiments secondaires	10,3	10,3	10,3	10,3
Terminal maritime				
Aménagement du site et services	3,0	4,0	4,0	4,0
Terrain	,1	,1	,1	,1
Poste d'amarrage simple	2,0	2,0	2,0	2,0
Chargement/déchargement du minéralier et de la barge	3,0	3,0	3,0	3,0
Stockage au quai	2,0	3,0	3,0	2,0
Stockage des produits	1,0	1,0	1,0	1,0
Manutention des produits	2,0	2,0	2,0	4,0
Sous-total	13,1	15,1	15,1	16,1
Transport du minerai sur terre	6,2	2,1	3,8	1,8
Production de gaz				
Usine d'oxygène	3,9	3,9	3,9	3,9
Monoxyde de carbone	41,4	41,4	41,4	41,4
Sous-total	45,3	45,3	45,3	45,3
Production d'électricité	55,0	55,0	55,0	55,0
TOTAL	129,9	127,8	129,5	128,5

Les coûts relatifs à une usine d'oxygène capable de produire annuellement environ 218 000 tonnes métriques pour la production de monoxyde de carbone sont basés sur un prix proportionnel et ont été estimés à 3,9 millions de dollars. Si l'on produisait de l'hydrogène dans les cuves électrolytiques, la co-production d'oxygène pourrait quelque peu réduire l'importance de cette installation. On estime que l'installation exigerait approximativement 8 MW supplémentaires d'électricité.

Le monoxyde de carbone produit à partir de charbon est utilisé dans les réacteurs initiaux de lixiviation par réduction. Les coûts de l'installation de la production comprennent aussi ceux du réservoir de base, du système d'alimentation en charbon, du système d'élimination, du système d'épuration des gaz, d'une chaudière de récupération de la chaleur, de l'approvisionnement en gaz, en charbon, en oxygène et en vapeur et des compresseurs. Le coût de cette installation se chiffre, estime-t-on à 41,4 millions de dollars.

La **production d'électricité*** satisfait pratiquement à toutes les exigences de l'usine, soit 55 MW. Les turbogénératrices, les chaudières de récupération de la chaleur, les dispositifs de démarrage et les condensateurs coûteraient environ 55 millions de dollars.

* Non discuté dans le modèle d'estimation.

Constitution des réserves, récupération et manutention

Les installations de stockage des nodules assurant une réserve pour huit semaines, soit environ 706 776 tonnes métriques de nodules humides, prévues sur place, sont constituées de deux bassins de stockage à parois d'argile. Les dépenses minimales pour la construction des bassins se chiffreraient à 3 millions de dollars s'il fallait garder la couche supérieure du sol ou utiliser un revêtement de plastique.

Les nodules sont récupérés par dragage (2) à l'aide de barges à fond plat munie d'un pont roulant et d'un treuil fonctionnant par un système d'aspiration par conduites. Le coût des deux dragues complètement équipées, des conduites et de la station auxiliaires se chiffre environ à 3 millions de dollars. Le remplacement de ce système par un système Marconaflo ne modifierait guère les frais de récupération par dragage.

Le circuit de **préparation de la charge d'alimentation** en nodules comprend des réservoirs de stockage, des filtres à courroie et deux circuits de broyage, au coût d'environ 6,22 millions de dollars. Les estimations pour le circuit de broyage comprennent aussi le coût de deux broyeurs à barreaux, le coût des fondations, le coût des cyclones, le coût des pompes d'alimentation et des cyclones, le coût des hottes pour le chargeur à barreaux et le coût d'un pont roulant.

Les installations de l'usine destinées au **stockage, à la manutention et à la distribution du produit traité** assurent une réserve de quatre semaines pour les principales matières en vrac, comme le charbon, le mazout et le calcaire (Tableau 3). On prévoit que la plupart des matières seront acheminées par voie ferrée.

Une somme de 1,9 millions de dollars est consacrée au stockage sous abri du charbon (59 000 tm) et du calcaire (2 000 tm) et du stockage du mazout en réservoir (1 000 barils). Ces stockages assurent des réserves pour un mois.

On estime que les frais de premier établissement qu'entraîne le stockage de toutes les autres matières non réutilisables (Tableau 2) sont négligeables et qu'ils sont compris dans les estimations pour les différentes sections de l'usine.

Les frais de premier établissement relatifs à la constitution de réserves, à la récupération et à la manutention sont donnés au Tableau 4.

Lixiviation, réduction et lavage

La somme approximative de 7,55 millions de dollars prévue pour le **circuit de lixiviation par réduction** inclue deux rangées de réservoirs de lixiviation revêtus de 6 millième de pouce d'acier, ainsi que les agitateurs, les réservoirs d'alimentation et les pompes d'alimentation et de rejet.

TABLEAU 3
Stockage des produits nécessaires au procédé

Produit	Besoins annuels	Réserves nécessaires Durée	Montant	Livraison
	tm/an	semaines	tm	
Nodules	3 887 269 tmh	8	706 776	par bateau
Charbon	690 000	4	58 545	par train
Mazout	11 440 baril	4	971	-
Calcaire	23 300	4	1 977	-

TABLEAU 4
Frais de premier établissement: constitution des réserves, récupération et manutention

	(millions de dollars)
Installations de stockage des nodules	
Bassins de stockage	3,0
Dragues de récupération	3,0
Sous-total	6,0
Préparation de la charge d'alimentation	
Réservoirs de décantation de la boue	
Filtres à courroie	
Circuits de broyage	
Sous-total	6,2
Stockage et manutention des produits nécessaires au procédé	
Charbon, mazout, calcaire	1,9
TOTAL	14,1

Le coût du **circuit du clarificateur** destiné à traiter la boue réduite comprend le coût du clarificateur et le coût des pompes d'aspiration du trop-plein, de la sous-verse et de la solution. Les coûts sont estimés à 2,34 millions de dollars.

On estime à 12,82 millions de dollars le coût de deux rangées de neuf **cuves d'oxydation** et de pompes pour le circuit de décantation à contre-courant.

Dans le **circuit de décantation à contre-courant** (DCC), on estime à un total d'environ 24,60 millions de dollars le coût des deux rangées de six épaississeurs, des réservoirs pour la liqueur riche, le trop-plein et la sous-verse, des pompes d'aspiration pour la boue et la solution et des

filtres du clarificateur pour la liqueur riche. Ces estimations sont basées sur les rendements du lavage dont fait mention une publication de Davies et Goldberg (voir modèle d'estimation), même si ces auteurs estiment que leurs prévisions peuvent s'avérer optimistes étant donné les caractéristiques physiques des nodules.

Un résumé des frais de premier établissement est donné au Tableau 5.

Régénération et traitement de l'effluent

Le coût global pour l'épuration des résidus, l'épuration du raffinat et pour les systèmes de production de la solution est estimé à 4,03 millions de dollars.

Extraction par solvants

Pour le circuit d'extraction par solvants du nickel et du cuivre, les estimations prévoient des mélangeurs-décanteurs pour le chargement, l'élimination et l'épuration, des coalesceurs et des centrifugeuses pour récupérer les solvants, des réservoirs d'équilibre pour les circuits organiques et aqueux, des colonnes de régénération de l'ammoniac et un matériel de pompage et de contrôle. En vue d'assurer une protection suffisante contre les incendies et les explosions, on prévoit aussi des hottes et des conduites pour recueillir les vapeurs. Le coût total du matériel pour l'usine est estimé à 8,91 millions de dollars.

TABLEAU 5

Frais de premier établissement: lixiviation par réduction et lavage

	(millions de dollars)
Circuit de lixiviation par réduction	7,55
Circuit du clarificateur	2,34
Cuves d'oxydation	12,82
Circuit D.C.C.	24,60
TOTAL	47,31

Récupération du cobalt

Les coûts de la récupération du cobalt comprennent la précipitation sous forme de sulfure, la lixiviation et l'extraction par solvants, qui sont estimés à 1,36 million de dollars. L'affinage électrolytique du cobalt, qui se chiffre à 16,50 millions de dollars, porte l'estimation totale à 17,86 millions de dollars.

Électrolyse

On prévoit des cuves affinage électrolytique distinctes pour le nickel et le cuivre, en plus d'une usine de cisaillement et d'emballage pour le nickel, le cuivre et le cobalt. Les estimations comprennent aussi les bâtiments, le matériel et le traitement. Le circuit d'affinage électrolytique du nickel est estimé à 32,92 millions de dollars, le circuit d'affinage électrolytique du cuivre à 24,14 millions de dollars et l'emballage et le cisaillement à environ 13,10 millions de dollars, soit un coût total pour la section usine d'environ 70,16 millions de dollars.

Les coûts sont mentionnés au Tableau 6.

Élimination des déchets

Les estimations comprennent aussi un système d'élimination classique des résidus constitué de **canalisations pour résidus** et de stations de pompage, d'un **bassin de stockage des résidus** endigué avec de la terre, et d'un système d'**élimination de l'effluent** comportant des pompes pour les produits décantés et l'effluent, des canalisations, des déversoirs et le **terrain.**

TABLEAU 6

Frais de premier établissement: affinage électrolytique

	(millions de dollars)
Affinage électrolytique du nickel	32,92
Affinage électrolytique du cuivre	24,14
Emballage et cisaillement du produit	13,10
TOTAL	70,16

Les frais comportent les services associés aux bâtiments, au matériel et au traitement.

Les frais de construction des digues pour les résidus varient selon le cas; seul le site de Kitimat requiert une digue de départ, à Emsley Creek, on suppose que l'élimination s'effectue en mer, on prévoit une digue de 20 ans traversant un bras de mer à l'île Smith et une importante digue de départ à Port Hardy en raison de la topographie. Il y aura vraisemblablement d'autres différences en raison de la disponibilité des matériaux.

Les coûts sont résumés au Tableau 7.

TABLEAU 7

Frais de premier établissement: élimination des déchets

	Kitimat	Emsley Creek	Île Smith	Port Hardy
	(millions de dollars)			
Canalisation pour les résidus	1,4	0,9	0,8	0,9
Bassin pour les résidus	8,0[1]	-	6,5[2]	13,0[1]
Élimination de l'effluent	7,7	-	-	0,8
Terrain	0,6	-	0,6	0,6
TOTAL	17,7	0,9	7,9	15,3

1 Digues de départ; 2 20 ans

Autres frais

On prévoit une somme égale à 18 %* de la totalité des frais de l'usine pour les coûts **d'ingénierie** et on suppose que le propriétaire fera parvenir le schéma du procédé de base aux concepteurs. On suppose en outre que le propriétaire est en mesure de créer un groupe de liaison fonctionnel ayant en main toutes les données nécessaires relatives au procédé afin de permettre à l'entrepreneur de convertir ces données en spécifications et en dessins. Le travail de l'entrepreneur commence avant la construction; il consistera à préparer des dessins, des spécifications pour le matériel, ainsi que l'ensemble des contrats en vue d'acheter le matériel et de passer des contrats pour la construction. On suppose qu'il est également responsable de la gestion des travaux et de la supervision du site.

En cas **d'imprévus,** on a inclus une somme égale à 20 % des frais d'exploitation de l'usine; cette somme est appropriée lorsque les installations sont classiques, comme elles semblent l'être pour la plupart. On octroie un pourcentage plus élevé pour des éléments dépendant du site. Le poste "imprévus" doit couvrir la marge brute d'autofinancement en cas d'imprévus.

Les stocks de **réserve** correspondent à 5 % des 280 millions de dollars destinés au matériel installé; ils sont basés sur l'usure mécanique du matériel utilisé.

Une somme de 10 millions de dollars consacrée à la **formation** a été allouée pour les frais de recrutement, de formation, les dépenses d'emménagement et les frais supplémentaires consacrés pour la mise en place du personnel initial des installations de traitement.

---

* 12 % pour le calcul détaillé des installations et 6 % pour la supervision du site.

Les frais de **démarrage** de l'usine qui n'apparaissent qu'une fois sont estimés à 12 millions de dollars en supposant une durée d'exploitation de 6 mois pour atteindre la capacité de production; on prévoit une production nulle pendant un tiers du temps, une production de un tiers pendant le second tiers du temps et une production de deux tiers pendant le dernier tiers du temps. Ceci permet de tenir compte durant cette période, du remplissage du circuit et d'une production inférieure aux normes.

On suppose que les **taxes et les assurances** se chiffrent environ à 3 % des coûts du matériel installé qui sont de 280 millions de dollars.

Le prix du **terrain** n'est prévu que pour l'usine principale (Tableau 8). Comme on peut choisir d'éliminer les résidus de lixiviation au large (au site d'Emsley Creek, Annexe I) et que l'élimination des déchets est spécifique au site, on estime séparément le prix du terrain réservé à cet effet. On détermine de la même façon la superficie nécessaire à la construction du terminal maritime. Selon les estimations, le terrain nécessaire à la construction d'installations secondaires n'est guère important.

TABLEAU 8
Exigences relatives au terrain

Installation	Exigences relatives au terrain (acres)	Coût au taux de 1 500$/acre
Usine principale		
Stockage des nodules et des produits nécessaires au procédé	100	
Accès par route et voie ferrée	25	
Lixiviation et lavage	250	
Affinage et récupération du cobalt	100	
Sous-total	475	712 500
Élimination des déchets		
Résidus à raison de 20 acres/an	390	585 000
Terminal maritime (Maximum)	30	45 000
TOTAL	895	1 342 500

La somme destinée au fonds de roulement qui correspond à une durée d'exploitation de 6 mois est considérée équivalente au coût des produits nécessaires au procédé, des matières premières en stock, des produits en stock, des comptes à recevoir et de l'argent comptant. Le stock de nodules constitue, en raison de sa dimension et de l'importante valeur des nodules livrés, une somme importante qui s'ajoute au fonds de roulement; cependant, les nodules ne sont pas inclus dans les calculs, mais devraient être inclus plutôt dans un modèle d'exploitation intégrée.

TABLEAU 9
Résumé des frais de premier établissement

Postes de dépenses	Kitimat	Emsley Creek	Île Smith	Port Hardy
		(millions de dollars)		
Aménagement du site	39,4	56,5	48,4	52,2
Installations secondaires	129,9	127,8	129,5	128,5
Constitution de réserves, récupération et manutention	14,1	14,1	14,1	14,1
Lixiviation par réduction et lavage	47,3	47,3	47,3	47,3
Régénération et traitement de l'effluent	4,0	4,0	4,0	4,0
Extraction par solvants	8,9	8,9	8,9	8,9
Récupération du cobalt	17,9	17,9	17,9	17,9
Électrolyse	70,2	70,2	70,2	70,2
Élimination des déchets	17,7	0,9	7,9	15,3
Sous-total (Dépenses relatives à l'usine)	349,4	347,6	348,2	358,4
Études d'ingénierie	62,9	62,6	62,7	64,5
Sous-total (Dépenses relatives au procédé)	412,3	410,2	410,9	422,9
Imprévus	82,5	82,0	82,2	84,6
Sous-total	494,8	492,2	493,1	507,5
Pièces de rechange	14,0	14,0	14,0	14,0
Formation	10,0	10,0	10,0	10,0
Démarrage	12,0	12,0	12,0	12,0
Taxes et assurance	8,4	8,4	8,4	8,4
Terrain	0,1	0,1	0,1	0,1
TOTAL	539,3	536,7	537,6	552,0
Fonds de roulement*	56,0	56,0	56,0	56,6
GRAND TOTAL	595,3	592,6	592,6	609,6

* Coût d'exploitation pour 6 mois; aucune prévision pour les réserves de nodules.

Profil des dépenses de premier établissement

Le **profil des dépenses** correspondant au capital initial suppose une durée de construction de 4½ ans. Les études d'ingénierie précèdent de 4 mois le début de la construction et se poursuivent durant 75 % de la durée totale de la période de construction, en supposant que le terminal maritime et les installations annexes seront terminés au cours de la

TABLEAU 10
Profil des dépenses d'investissement*

Poste de dépense	-5	-4	3	-2	-1	Total
			(millions de dollars)			
Usine et matériel	34,9 (10)	139,8 (40)	80,4 (23)	45,4 (13)	48,9 (14)	349,4 (100)
Études d'ingénierie	23,9 (38)	15,7 (25)	14,5 (23)	5,7 (9)	3,1 (5)	62,9 (100)
Imprévus	10,7 (13)	16,5 (20)	28,1 (34)	16,5 (20)	10,7 (13)	82,5 (100)
Pièces de rechange				5,3 (38)	8,7 (62)	14,0 (100)
Formation et démarrage					22,0 (100)	22,0 (100)
Taxes et assurances	0,5 (6)	1,4 (17)	1,9 (23)	2,1 (25)	2,5 (29)	8,4 (100)
Terrain	0,1 (100)					0,1 (100)
TOTAL (sans le fonds de roulement)	70,1	173,4	124,9	75,0	95,9	539,3
Fonds de roulement				22,4 (40)	33,6 (60)	56,0 (100)
TOTAL (avec le fonds de roulement)	70,1	173,4	124,9	97,4	129,5	595,3

( ) = pourcentage de distribution pour le poste.
* Kitimat constitue le cas de référence.

première année. La somme relative au coût de l'usine est distribuée sur les 36 mois suivants et celle relative à l'affinage sur les derniers 6 mois. Les dépenses pour le fonds de roulement ne sont pas incluses.

Le **capital de remplacement** correspond à 1 % de la totalité des frais annuels de l'usine à partir de la troisième année de production, de façon à maintenir la compétivité de l'usine et à incorporer de nouvelles améliorations technologiques (mais non à agrandir l'usine). Le matériel mobile est remplacé tous les 5 ans.

FRAIS D'EXPLOITATION

Base des estimations

Les estimations des frais d'exploitation sont basées en grande partie sur les données de la societé Les Mines Falconbridge Nickel Limitée et de la Wright Engineers Limited. On a émis des hypothèses pour chacun des postes.

Les dépenses d'exploitation pour toutes les sections de l'usine, y compris les installations secondaires, sont regroupées sous les titres produits nécessaires au procédé (combustibles et non combustibles), services publics, main-d'oeuvre, fournitures, impôts fonciers, ventes et administration. Tous les coûts d'exploitation sont résumés au Tableau 14.

Explication des coûts

Produits nécessaires au procédé

Les frais des produits nécessaires au procédé (combustibles et non combustible) comportent le prix des produits de base (Tableau 11) et un surplus pour leur livraison à un site spécifique.

Les sommes supplémentaires pour la livraison ont été estimées par l'ÉMR, d'après les données de la Wright Engineering Limited; selon le mode de transport, elles couvrent les dépenses pour la livraison à partir du terminal maritime jusqu'à l'usine.

Services publics

Les exigences relatives à l'achat d'électricité sont négligeables, car l'usine peut produire la totalité des 55 MW nécessaires à son fonctionnement.*

Main-d'oeuvre

Les frais de main-d'oeuvre sont calculés d'après les exigences élaborées pour la plupart des sections de l'usine (Tableau 12) et d'après un salaire annuel de 21 800 $ pour chaque opérateur, de 24 100 $ pour les membres du personnel d'entretien et de 27 500 $ pour les salariés. Ces montants comportent les frais généraux et tous les paiements effectués au nom de l'employé (environ 25 % du salaire de base), mais ne comprennent pas les frais indirects comme les loisirs, la cafétéria, etc.

La totalité des frais de main-d'oeuvre est estimée à 44,8 millions de dollars.

---

* Les exigences relatives à l'électricité et à la capacité de production d'électricité au site de l'usine sont examinées dans le modèle d'estimation; elles sont basées sur un rapport de l'EIC Corporation.

TABLEAU 11
Coûts des produits nécessaires au procédé

Produits nécessaires au procédé	Exigence annuelle (tm/an)	Prix de base[1] (dollars/tm)	Coût de base (000 x dollars)	Dépenses supplémentaires pour le transport (000 x dollars)			
				Kitimat	Emsley Creek	Île Smith	Port Hardy
Matières combustibles							
Charbon	690 000	50 (Installation portuaire sur le continent)	34 500	néant	néant	néant	3 450 (5)[2]
Mazout	11 440 barils	15/barils (Installation en C.-B.)	172	néant	néant	néant	néant
Total pour les matières combustibles			34 672	néant	néant	néant	3 450
Matières non combustibles							
Calcaire	23 300	25 (Installation portuaire en C.-B.)	583	445 (19)	321 (14)	321 (14)	210 (9)
Chaux	9 900	35 (Installation portuaire en C.-B.)	347	188 (10)	139 (14)	139 (14)	89 (9)
Ammoniac	4 400	171 (Installation portuaire sur le continent)	752	176 (40)	176 (40)	176 (40)	220 (50)
H_2S	4 000	500 (Fort Saskatchewan)	2 000	200 (50)	200 (50)	200 (50)	240 (60)
H_2SO_4	500	30 (Trail, C.-B.)	15	20 (40)	20 (40)	20 (40)	25 (50)
Barreaux de broyage	1 350	385 (Partout en C.-B.)	520	162 (120)	162 (120)	162 (120)	176 (130)
Réactif LIX	303	7 166 (Partout en C.-B.)	2 171				
Floculant	1 000	660 (Partout en C.-B.)	660				
Sulfate de sodium	1 250	75 (Partout en C.-B.)	94				
Acide borique	180	400 (Partout en C.-B.)	72	126 (25)	126 (25)	126 (25)	126 (25)
Sel (NaCl)	240	75 (Partout en C.-B.)	18				
Produit chimique pour les tours d'eau	600	1 800 (Partout en C.-B.)	1 080				
Adjuvant pour filtrage	1 500	195 (Partout en C.-B.)	293				
Total pour les matières non combustibles			8 605	1 317	1 144	1 144	1 086

1 Source: Estimation de l'ÉMR; prix f.à b. au point de livraison; "Installation portuaire en C.-B." comprend l'île de Vancouver (p. ex. Port Hardy), mais "Installation portuaire sur le continent" ne comprend pas l'île de Vancouver.
2 Peut être produit sur place. 3 ( ) frais supplémentaire de $/tm pour la livraison.

TABLEAU 12
Répartition de la main-d'oeuvre

Zone de l'usine	Main-d'oeuvre
Stockage de la boue et dragage	20
Décantation et filtration de la boue	12
Broyage	4
Lixiviation, clarification et oxydation	16
DCC	12
Filtre du clarificateur	8
Extraction par solvants	20
Réduction du cobalt et extraction par solvants	8
Affinage électrolytique du nickel	150
Affinage électrolytique du cuivre	100
Électrolyse du cobalt	50
Épuration des résidus et épuration du raffinat	16
Usine de production de monoxyde de carbone et usine de compression des gaz	24
Cisaillement et emballage du produit	40
Élimination des résidus	20
Installations portuaires et chantier	200
Habitations (personnel essentiel seulement)	100
Exploitation totale	800
Entretien total	680
Personnel salarié	400

Fournitures

On prévoit une certaine somme pour l'exploitation, l'entretien, la santé et la sécurité et le laboratoire.

On estime que les fournitures d'exploitation sont égales à 3 % de la totalité des frais du matériel installé, qui sont de 280 millions de dollars soit 8,4 millions de dollars. On suppose que les frais de réparation se chiffrent à 2 % des frais du matériel, soit 5,6 millions de dollars.

Taxes foncières, assurances et autres frais

On prévoit une somme de 1,5 million de dollars pour les taxes foncières, les assurances et l'inspection.

Ventes et administration

Les sommes prévues pour les frais de ventes ont été examinées avec des personnes travaillant dans ce domaine et sont considérées suffisantes. On prévoit 10 personnes touchant annuellement 100 000 $ chacune, sans compter les frais de base se chiffrant à 5 millions de dollars.

TABLEAU 13

Résumé des frais d'exploitation annuels

Postes de dépenses	Site			
	Kitimat	Emsley Creek	Île Smith	Port Hardy
	(millions de dollars)			
FRAIS DIRECTS				
Produits nécessaires au procédé				
Matières combustibles	34,7	34,7	34,7	38,1
Matières non combustibles	9,9	9,8	9,8	9,7
Sous-total	44,6	44,5	44,5	47,8
Services publics				
Achat d'électricité	néant	néant	néant	néant
Main-d'oeuvre				
Personnel salarié	11,0	11,0	11,0	11,0
Personnel d'entretien	16,4	16,4	16,4	16,4
Personnel d'exploitation	17,4	17,4	17,4	17,4
Sous-total	44,8	44,8	44,8	44,8
Fournitures				
Exploitation	8,4	8,4	8,4	8,4
Entretien - réparation	5,6	5,6	5,6	5,6
Sécurité et santé	0,6	0,6	0,6	0,6
Laboratoire	0,5	0,5	0,5	0,5
Sous-total	15,1	15,1	15,1	15,1
Sous-total, frais directs	104,5	104,4	104,4	107,7
FRAIS INDIRECTS				
Taxes foncières et assurances	1,5	1,5	1,5	1,5
Ventes et administration	6,0	6,0	6,0	6,0
Sous-total, frais indirects	7,5	7,5	7,5	7,5
TOTAL	112,0	111,9	111,9	115,2

ANNEXE I

Description de certains sites possibles pour la construction d'une usine de traitement en Colombie-Britannique

Les résumés suivants concernant les emplacements possibles ont été établis d'après un rapport préparé par la Wright Engineers Limited pour le compte du Ministry of Economic Development de la Colombie-Britannique qui a été assisté par la section DR/SPM du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Le rapport traite en partie des emplacements possibles pour le traitement des nodules de manganèse et examine quatre emplacements qui, selon une première évaluation, semblent convenir en se basant sur une estimation superficielle de certains facteurs comme la disponibilité d'un terrain industriel pour l'usine, l'élimination des résidus, les voies d'accès et la production d'électricité. Trois des emplacements sont situés au voisinage de Prince Rupert et de Kitimat et l'autre est situé sur la côte nord-est de l'Île de Vancouver.

Ces emplacements ont deux points en commun; les précipitations annuelles sont très élevées par rapport à l'évaporation annuelle et le site se prête bien à des installations portuaires en eau profonde. Ces caractéristiques auront des incidences financières, en ce qui concerne le besoin d'un stockage à couvert, d'installations pour l'élimination des résidus et d'installations de refroidissement par évaporation.

Certaines caractéristiques de chaque site qui influent sur les estimations des frais de premier établissement et des frais d'exploitation spécifiques relatifs à une usine à ces emplacements sont résumées ci-dessous:

Kitimat

On a choisi un emplacement situé sur le côté occidental de la vallée de Kitimat juste au sud de la rivière Little Wedeene pour établir les estimations financières au site de Kitimat (Fig. I-1). Le terrain en pente douce est situé près de la mer à proximité de la fonderie de l'Alcan. Les difficultés de conception et de construction des fondations de l'usine causées par la présence d'épaisses couches d'argile silteuse et friables entraîneront vraisemblablement des frais élevés pour la fondation.

Le transport par voie ferrée jusqu'à l'usine de traitement des nodules se ferait par un embranchement de 2 km à partir de la ligne adjacente du Canadien National, tandis que l'accès par camions se ferait par un chemin forestier de 2 km traversant la forêt à partir du centre de services. L'électricité serait fournie par une ligne de transport d'énergie d'un kilomètre reliée à la ligne de transport d'énergie adjacente de la British Columbia and Power Authority. On suppose ici que la rivière Little Wedeene, affluent de la rivière Kitimat constituerait une source d'eau pour l'usine, même s'il s'avère difficile d'effectuer d'autres retraits de la rivière Kitimat, à cause de la présence de saumons dans ces eaux.

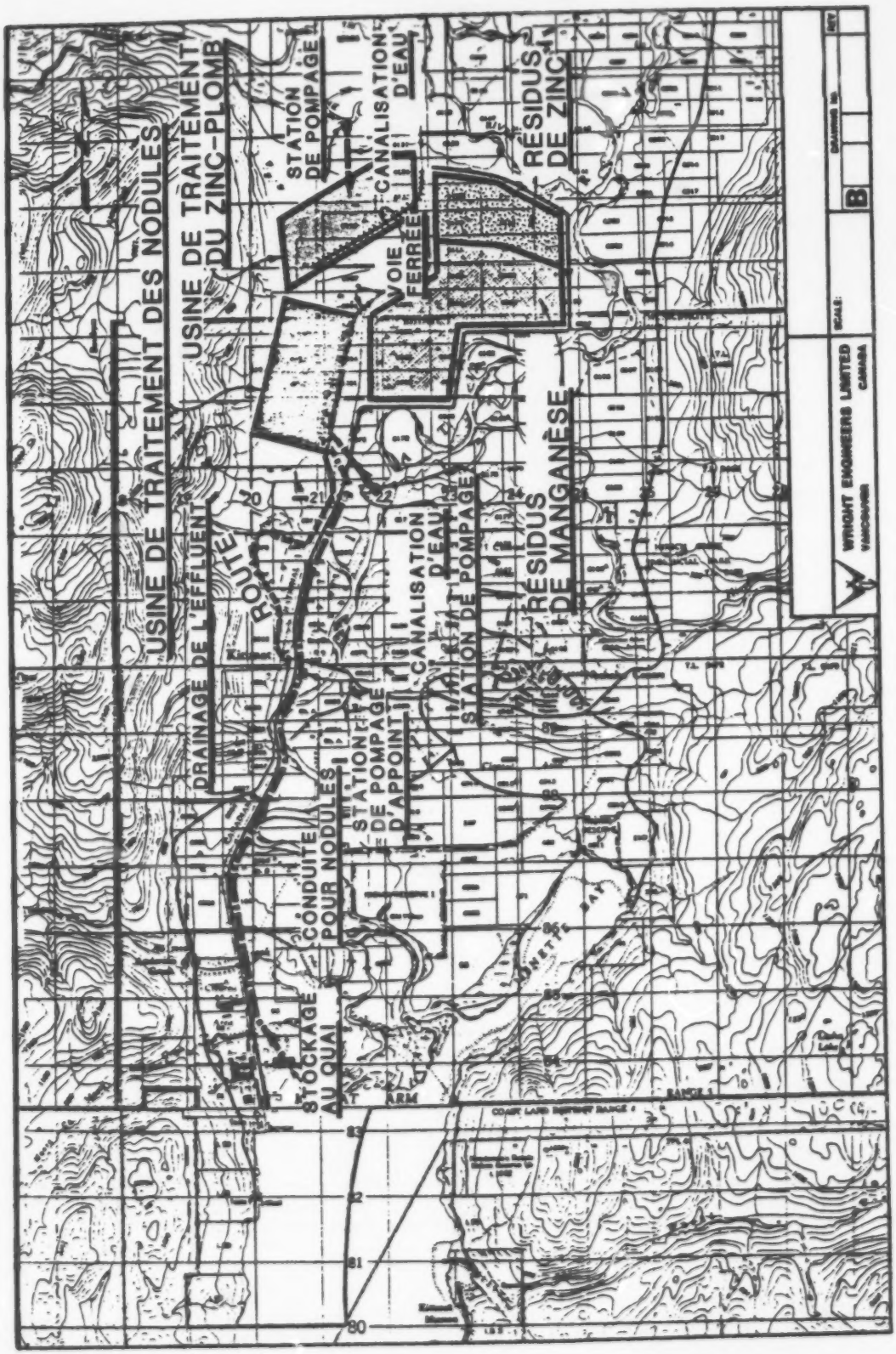


FIG. I-1. SITE DE KITIMAT

Le terminal maritime pourrait facilement être construit dans le Bras Kitimat qui est protégé et dont la profondeur est suffisante pour permettre le passage de grands minéraliers. Les nodules ou les autres matières indispensables au procédé seraient déchargés dans une installation portuaire ou dans un terminal et devraient être transportés sur environ 12 kilomètres jusqu'au site de l'usine.

Des digues pour les résidus et des décharches pour les scories pourraient être emménagées sur le terrain étendu, plat et marécageux situé à proximité du site de l'usine.

Comme il est interdit de déverser l'effluent dans la rivière Kitimat, les eaux de ruissellement et de suintement provenant des décharges pour les scories ou des bassins de stockage des résidus doivent être retournés dans la baie de Kitimat par une canalisation dans le sol, pouvant transporter un volume important de l'évacuation, dû à la grande superficie des bassins et au taux élevé des précipitations.

Emsley Creek

Du côté occidental du Bras Kitimat, entre Kitimat et le lac Jesse, le terrain relativement plat de la vallée d'Emsley Creek semble se prêter à la construction d'une usine de traitement des nodules (Fig. I-2). Le ruissellement au niveau du cours supérieur d'Emsley Creek devrait être détourné dans le lac Jesse.

Il faudrait construire quelque 20 kilomètres de route et 17 kilomètres de voie ferrée sur des terrains très accidentés et très rocheux pour accéder au site d'Emsley Creek et au lac Jesse. Il faudrait également construire une ligne de transport d'énergie de 18 km. Dans chaque cas, ces services proviendraient de la proximité de la fonderie de l'Aluminium du Canada, Limitée (Alcan). Le lac Jesse constituerait une source d'eau suffisante.

Emsley Point constitue un bon emplacement pour un terminal maritime. L'eau est profonde à proximité de la côte et l'usine n'est située qu'à une courte distance.

Le terrain n'est pas assez grand pour permettre d'éliminer les résidus ou les scories dans la vallée. Par conséquent, pour ce site particulier, l'élimination des résidus ne serait réalisable que dans la mer au niveau du Bras Kitimat. Les scories ou les résidus réduits en granules pourraient être déversés dans le Bras Kitimat dont la largeur à cet endroit est d'environ 3 km et la profondeur 298 mètres. La profondeur de l'eau continue de s'accroître vers le sud en aval du canal Douglas.

Île Smith

L'Île Smith est située entre 15 et 20 km au sud de Prince Rupert sur le côté sud de l'embouchure de la rivière Skeena (Fig. I-3). Le site est séparé du continent par un canal peu profond du passage Inverness. Sur le côté nord de l'île se situe un terrain relativement uniforme à une altitude inférieure à 200' qui serait suffisamment grand pour la construction d'une usine de traitement.

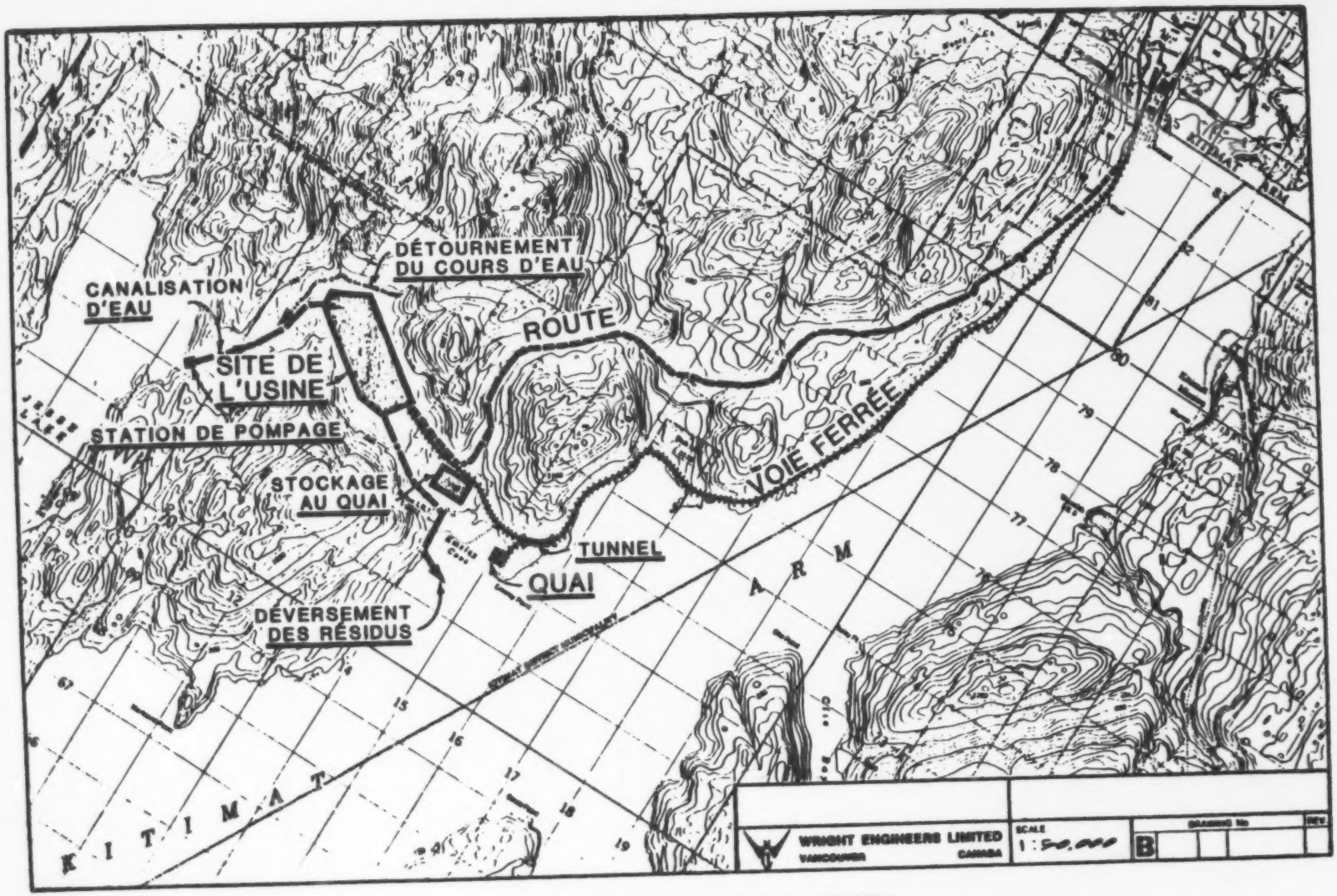


FIG. I-2. SITE D'EMSLEY CREEK

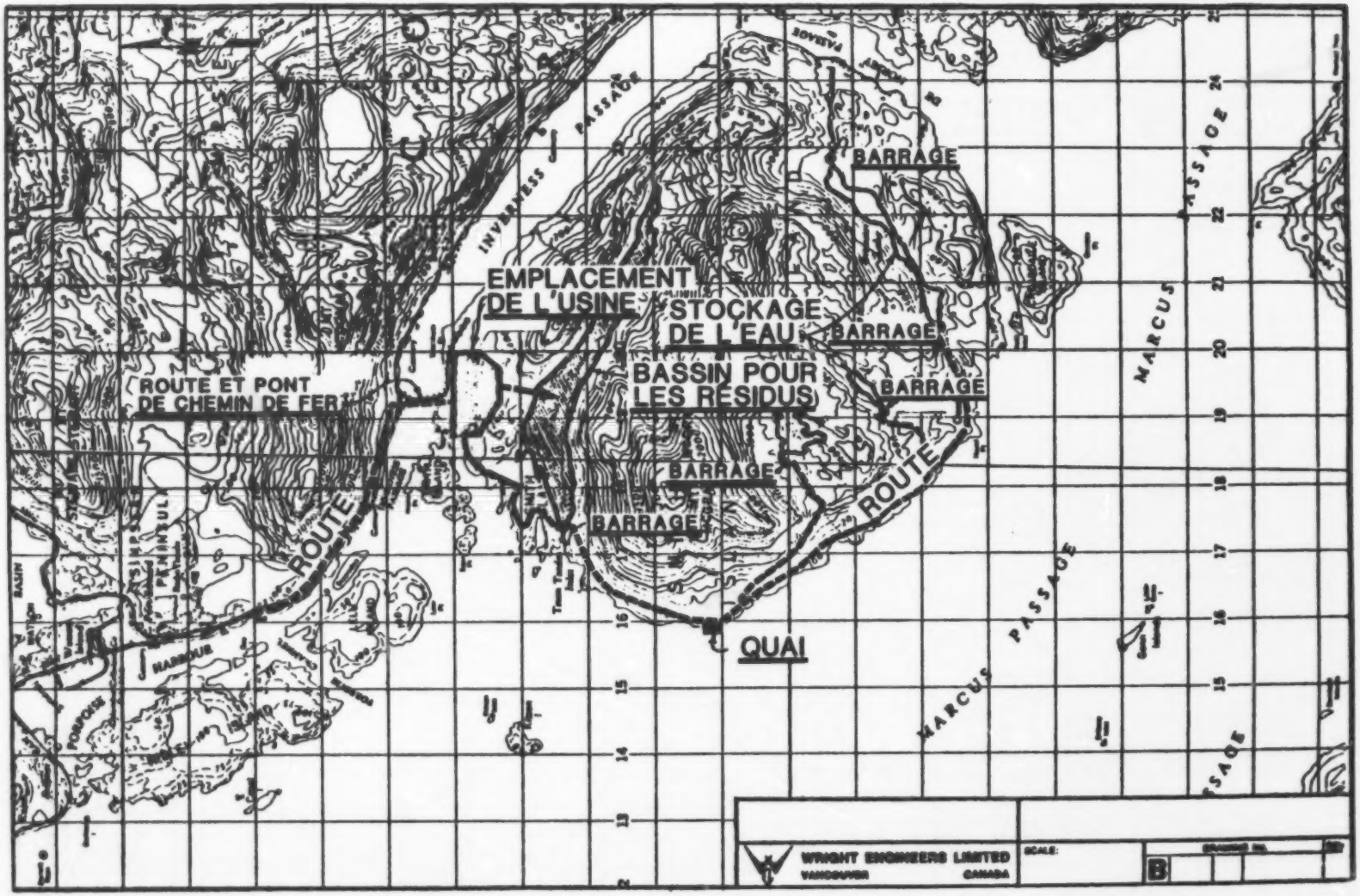


FIG. I-3. SITE DE L'ÎLE SMITH

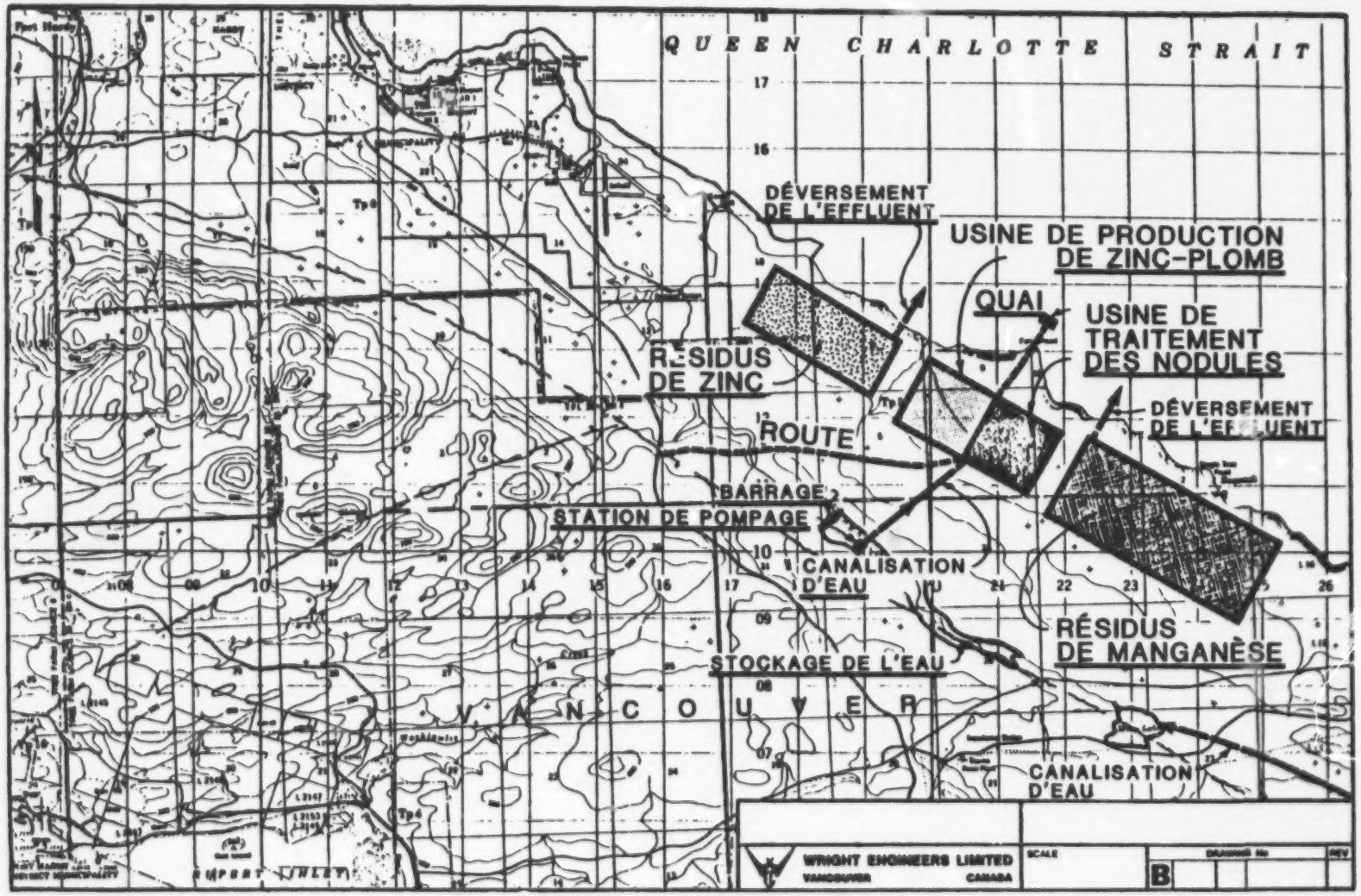


FIG. I-4. option 1 SITE DE PORT HARDY

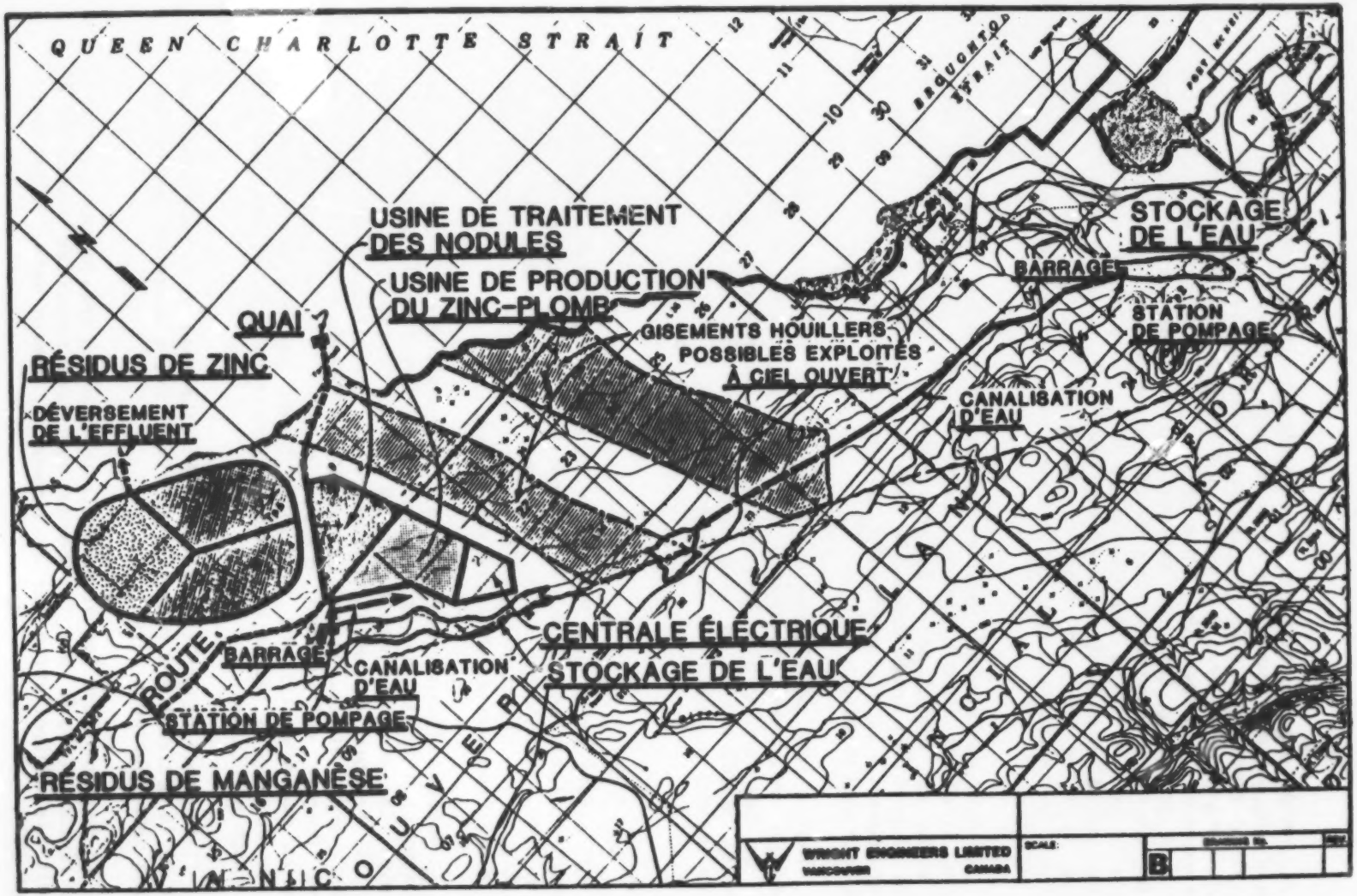


FIG. I-4. option 2 SITE DE PORT HARDY

L'accès par route et par voie ferrée serait réalisé par l'intermédiaire d'une chaussée surélevée et d'un pont situés au point le moins profond du passage Inverness où la profondeur maximale de l'eau est d'environ 7 mètres. Il serait possible d'effectuer les raccordements avec la route existante provenant de Prince Edward, qu'il faudrait améliorer, et avec la voie ferrée du Canadien National qui se prolonge jusqu'à Prince Rupert le long du passage Inverness du côté du continent. On suppose que l'électricité pourrait être fournie par la B.C. Hydro and Power Authority et par les autorités portuaires de Prince Edward et que l'on devrait construire une ligne de transport d'énergie de 7 km jusqu'à l'usine. L'eau proviendrait de petits barrages bâtis dans trois lacs situés sur le côté nord de l'île.

Le quai du terminal maritime pourrait être situé sur le côté sud de l'île où l'eau est d'une profondeur de 10 brasses à proximité de la côte et où l'accès est dégagé pour les gros bateaux. Même s'il est abrité contre la plupart des intempéries, le site portuaire est ouvert à l'ouest et au nord-ouest. La distance entre le quai et l'usine est semblable à celle du site de Kitimat.

Tout à côté de l'usine se trouve l'anse Tsum Tsadai qui semble constituer un emplacement approprié à l'élimination des résidus ou des scories. La construction d'un barrage d'une hauteur maximale de l'ordre de 45 mètres et de 200 mètres de long environ permettrait de stocker durant 20 ans les résidus produits par le procédé Kennecott.

Port Hardy

Il existe entre Port McNeill et Port Hardy une région étendue et relativement uniforme se prêtant à la construction d'une usine de traitement (Fig. I-4). Cependant, cette région se trouve dans une zone d'activité séismique; les structures de l'usine devraient donc être conçues pour résister à des tremblements de terre importants.

L'accès à l'usine nécessiterait la construction d'une route de 3 km. Comme il n'existe aucune voie ferrée en direction du nord de l'île de Vancouver, les produits nécessaires au procédé devraient être acheminés par mer. Il faudrait également construire des installations électriques, car la B.C. Hydro et les lignes de transport d'énergie de la région ne pourraient fournir suffisamment d'électricité. L'usine pourrait être alimentée en eau à partir des réservoirs formés par la construction de barrages de stockage à faible profondeur (inférieurs à 20 mètres) sur les rivières Kaogh et Cluxewe.

Il faudrait construire des quais à False Head où la profondeur de l'eau est de 18 mètres à 600 mètres de la rive. Cet endroit est exposé aux intempéries dans plusieurs directions.

En supposant que les aires d'élimination des résidus sont situées dans une région éloignée des "gisements houillers possibles exploités à ciel ouvert" la dénivellation sur la largeur du bassin serait d'approximativement 200'.

Les exigences en charbon pourraient être assurées par l'exploitation du gisement houiller Suquash. En outre, des quantités importantes de calcaire de haute qualité pourraient être assurées à partir de sources situées dans l'Île de Vancouver.

November 30, 1982